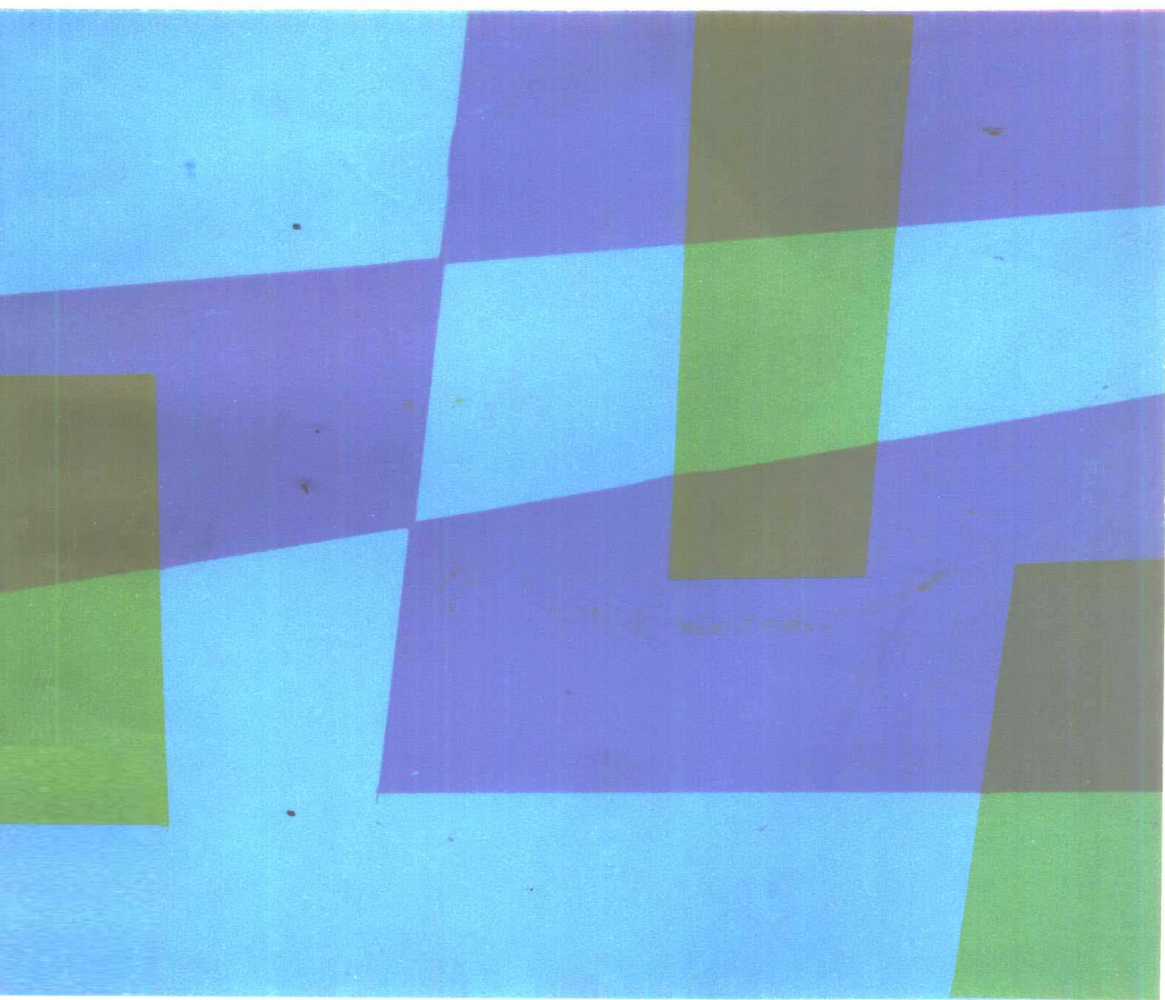


噪声和振动的系统测试

〔日〕北村恒二 著



机械工业出版社

噪声和振动的 系统测试

〔日〕北村恒二 著

陆世鑫 叶孔懋 崔玉亭 译

机械工业出版社

騒音と振動のシステム計測

北村恒二著/コロナ社 1979

噪声和振动的系统测试

〔日〕北村恒二著

陆世鑫

叶孔懋 译

崔玉亭

高履泰 校

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业登记证出字第117号)

中国农业机械出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 850×1168 1/32·印张 11 3/4·字数 307 千字

1985年9月北京第一版·1985年9月北京第一次印刷

印数 0,001—5,166·定价 3.40 元

统一书号: 15033·5986

译 者 序

随着工业的发展,各种机器的响声破坏了人类宁静的生活环境,影响了人体健康。噪声已经成为一大公害。近年来噪声也已成为评定机电产品质量优劣的技术指标。为此国内外都相应制订了许多有关噪声控制的标准和法令。

目前国内系统介绍噪声测试的书籍不多。本书作者根据多年的实践经验,比较全面地介绍了噪声和振动的测试仪器、系统测试的基本方法和注意事项。我们希望本书能对从事噪声控制工作的同志有所帮助或启发。

对原书 1·1·2 和 1·1·3 中有关噪声级单位“方”(ホン)的说明,由于不符合我国和国际上通用的习惯,为防止和响度级的单位“方”混淆,译者对这部分内容作了删节。此外,译者还对原书明显的错误作了更正。

本书由太原工学院陆世鑫、叶孔懋、崔玉亭译,陆世鑫统稿。由北京建筑工程学院高履泰教授校。太原工学院陈绎勤教授曾给予热情帮助,在此特表示衷心的感谢。

由于译者水平所限,译文中难免有不少错误和不当之处,希望读者批评指正。

序 言

过去只有一部分研究人员从事噪声或振动等的测试工作。近来才脱离学者之手，在各种营业所或行政机构等部门由专家以外的人员随时频繁地进行噪声或振动测试。

以声级计测试为例，它本身很简单，任何人都能掌握。但是用两台声级计测量同一个噪声源时，测定值会出现 1dB、2dB 或更大的差异，往往不了解哪一个正确值。这是从事过一些噪声测试的人都曾有过的经验。

测定值之所以有差别，是因为声级计在不知不觉中出了毛病，或声级计的操作和测试方法上有某些错误。不论什么差错，发现这种现象后，应该及时查明原因，找出正确值；可是往往没有找到原因或没有找到说明措施的参考书就拿出自以为是的数据，或者不知道有误差就公布数据。

单个声级计就存在上述问题，何况是分析、记录、数据处理的测试系统。为了正确地进行测试，就更需要相当高超的测试技术。但是介绍测试方法的参考书根本就看不到。

著者从事噪声、振动测试仪器的制造工作，从制造测试仪器工厂的角度出发，编写了百余页的仪器使用注意事项的小册子，已刊行过数次，还曾把它作为讲义，在讲习班使用过数十次。对此，著者听到了不少意外的反应，在一些从事实际测试工作的人员中得到接受各种质疑的机会，既有表扬之词，也有宝贵的建议。

本书根据这些建议并以回答质疑的经验为基础，主要汇编了噪声和振动系统测试的基本方法和注意事项等内容。

著者才疏学浅，惟恐有许多不够完备之处。本书如能对有关方面起到微小的作用，著者将感到无比荣幸。

北村恒二
一九七五年一月

目 录

第一篇 噪 声

第一章 噪声的测试和声级计	1
1.1 噪声的定义及其单位	1
1.1.1 噪声的定义	1
1.1.2 噪声级(测量量)和分贝(dB)	1
1.1.3 响度级(感觉量)和方(phon)	2
1.2 声级计和计权网络	2
1.2.1 A特性计权曲线	3
1.2.2 B特性	4
1.2.3 C特性	4
1.2.4 D特性	4
1.3 声级计的分类	4
1.3.1 简易声级计	5
1.3.2 指示声级计或普通声级计	5
1.3.3 精密(指示)声级计	7
1.3.4 脉冲声级计	11
1.3.5 PNdB声级计(D特性声级计)	14
1.4 正确的测试方法	26
1.4.1 声级计本身的特性有问题	27
1.4.2 校准装置本身不准	30
1.4.3 测试方法错误	31
第二章 声级计的外围设备	38
2.1 声级计的便携式绝对校准装置——活塞发声 器	38
2.1.1 活塞发声器的研制	38
2.1.2 什么是活塞发声 器	38
2.1.3 活塞发声器的结构	39
2.2 噪声的记录仪 器——电平记录仪	44

2.2.1	电平记录仪的分类	44
2.2.2	电平记录仪的问题	49
2.3	频率分析仪器	52
2.3.1	带通分析器	52
2.3.2	连续分析器	60
2.4	频率振荡器	64
2.4.1	正弦波发生器(可闻频率范围)	65
2.4.2	函数发生器	65
2.4.3	白噪声发生器	66
2.5	扬声器、传声器等的音质特性试验	68
2.6	磁带记录仪	69
2.6.1	盒式磁带记录仪	70
2.6.2	一般用的磁带记录仪	72
2.6.3	高级磁带记录仪	72
2.7	实时分析仪	74
2.7.1	显象管显示	74
2.7.2	用辉线构成坐标图的刻度	75
2.7.3	重复时间短	75
2.7.4	保持机构	75
2.7.5	与计算机连接	75
2.8	快速傅立叶变换FFT分析装置	75
第三章	噪声的系统测试	77
3.1	一般环境噪声的测试	77
3.1.1	一般环境噪声的有关法令	77
3.1.2	一般环境噪声的测试	78
3.2	建筑施工噪声的测试	82
3.2.1	有关建筑施工噪声的法令	82
3.2.2	建筑施工噪声(振动)的测试	84
3.3	道路交通噪声的测试	90
3.3.1	有关道路交通噪声的法令	90
3.3.2	道路交通噪声的中值	93
3.3.3	中值、置信概率90%的测试	97
3.4	工厂噪声的测试	105
3.4.1	有关工厂噪声的法令	105

3.4.2 工厂噪声的测试情况	113
3.5 飞机噪声的评价单位及其测试方法	126
3.5.1 感觉噪声级 (PNL)	127
3.5.2 D特性或计权特性D	127
3.5.3 噪声和飞行次数指数(NNI)	128
3.5.4 有效感觉噪声级(EPNL)	128
3.5.5 等效连续感觉噪声级 (ECPNL)	128
3.5.6 加权等效连续感觉噪声级 (WECPNL)	129
3.6 传声损失、隔声量、混响时间等的求法	137
3.6.1 传声损失 (T.L.)	137
3.6.2 隔声量	139
3.6.3 测量混响时间的系统	143
3.6.4 隔声量的计算方法	149
3.6.5 吸声系数	150
3.6.6 降低噪声的措施	152
3.7 补充事项——基础技术知识	176
3.7.1 各种噪声评价方法	176
3.7.2 各种换算方法	191
3.7.3 术语等的补充说明	198
3.7.4 列车噪声	203

第二篇 振 动

第四章 振动的基本事项	233
4.1 振动的定义、周期运动、简谐振动	233
4.2 振动测试术语和指示单位	233
4.2.1 频率	233
4.2.2 振幅	234
4.2.3 振动速度	234
4.2.4 振动加速度	235
4.2.5 振动加速度级	235
4.2.6 振动级	235
4.2.7 频率 f , 位移 D , 速度 V , 角加速度 ω 和dB的关系式	236

4.3 分贝值换算为振幅值等的方法	236
第五章 电测式振动传感器	240
5.1 各种传感器的结构、特点	241
5.1.1 电动式传感器(速度传感器)	241
5.1.2 压电式传感器(加速度传感器)	244
5.1.3 其他型式的传感器	247
5.2 典型的实用传感器及其使用实例	250
5.2.1 传感器的选择	250
5.3 使用传感器时应该注意的事项	253
5.3.1 传感器的选择	253
5.3.2 注意电磁场的影响	253
5.3.3 瞬时冲击值	254
5.3.4 电缆的噪声	254
5.3.5 应预先了解频率范围	254
5.3.6 温度的影响	254
第六章 测振仪的电路	256
6.1 一般测振仪的电路	257
6.2 电荷放大器	257
6.3 阻抗变换器——前置放大器	261
6.3.1 外置式阻抗变换器	261
6.3.2 内装式阻抗变换器	261
第七章 振动的测试和分析	263
7.1 振动的测试	263
7.1.1 普通测振仪	263
7.1.2 报警测振仪	264
7.1.3 振动级计(公害测振仪)	269
7.2 振动的分析、记录	278
7.2.1 波形和级	278
7.2.2 测振仪和磁带记录仪连接	283
7.2.3 测振仪和频率分析器、电平记录仪的连接	286
7.2.4 各种分析器及其系统测试	288
7.2.5 补充参考事项——关于激烈振动	298

第八章 用振动试验机进行试验	300
8.1 振动试验的种类	300
8.1.1 机械式振动试验机的特点	300
8.1.2 电—液振动试验机的特点	301
8.1.3 电动型振动试验机的特点	301
8.2 电动型振动试验机的结构	302
8.2.1 各部分的说明	302
8.2.2 电动型振动试验台的激振力	304
8.2.3 电动型激振机的激振辅助工作台	305
8.2.4 电动型激振机的谐振点	306
8.3 损伤积累假说和激振试验	308
8.3.1 无效的激振试验——容易产生的错误(1)	310
8.3.2 与破坏试验有关的激振试验——容易产生的错误(2)	310
8.4 利用激振测定各种常数	311
8.4.1 梁的不规则振动	311
8.4.2 固有周期和衰减常数	313
8.4.3 弹性模量、刚性模量及泊松比	314
8.4.4 弹性波速度和能量的传递	316
8.4.5 机械阻抗的测量	317
8.4.6 相位角的测试	320
8.5 一般激振试验	320
8.5.1 校正、检定振动传感器	320
8.5.2 运输试验	322
8.5.3 可靠性试验	323
8.5.4 振动试验的基本概念	329
参考文献	331
附录	333
表1 国产声级计	333
表2 国产频率分析仪器	334
表3 国产记录仪器	334
索引	336

第一篇 噪 声

第一章 噪声的测试和声级计

1.1 噪声的定义及其单位

1.1.1 噪声的定义

噪声是令人厌烦的声音的总称。“厌烦”或“不厌烦”原来都是人的主观感觉，要测量这种感觉，现有的技术水平是做不到的。

声级计也不可能测量这种感觉，它只能测量声音的大小。

噪声级[⊖]就是 sound level 或 noise level。

与声级计对应的英文是 sound level meter，而不说 noise meter。

在日本，一提到声音大小的问题，大多是指感觉“厌烦”的问题，所以把 sound level 称为噪声级而不说声级。

1.1.2 噪声级（测定量）和分贝[⊖]（dB）

以前，世界各国曾分别制订了各自的规范，但是为使测量结果能在全世界进行比较，就必须使声级计标准化。1961年国际电工委员会（IEC）制订了123号文件“声级计推荐标准”（IEC R 123）。国际电工委员会以前是独立的，后来并入国际标准化组织（ISO，总部设在瑞士的日内瓦），现在是其中所属的一个专业委

⊖ 我国把 sound level 称为声级，所以后面书中所说的噪声级均为我国所说的声级。——译者注

⊖ 原文是“方”（ホン），日本曾这样使用过，但我国和国际上都采用分贝。——译者注

员会。

日本也是以 IEC 标准为基础, 对以前的标准进行了全面修订, 得出了现行的日本工业标准 JIS C 1502。

国际电工委员会 (IEC) 规定噪声的单位是分贝 (dB)。

1.1.3 响度级 (感觉量) 和方 (phon)

在这里需要了解声压级 (sound pressure level) 的概念。

声波在空气中传播, 会在大气压上产生一个叠加的微小 (微巴级) 的交变压力。这种压力变化部分的有效值称为声压, 用分贝 (dB) 表示声压大小的程度则称为声压级 (sound pressure level) (物理量)。

至于方 (phon) 乃是表示主观感觉的大小即响度级的单位, 它并不一定随频率变化。对于 1000 Hz 的声音, 响度级等于其声压级的数值; 对于其它频率的声音, 只要听起来和 1000 Hz 的声音一样响, 它就等于该 1000 Hz 声音的声压级值。

弗莱彻 (Fletcher) 和鲁宾逊 (Robinson) 等人对多数人测出

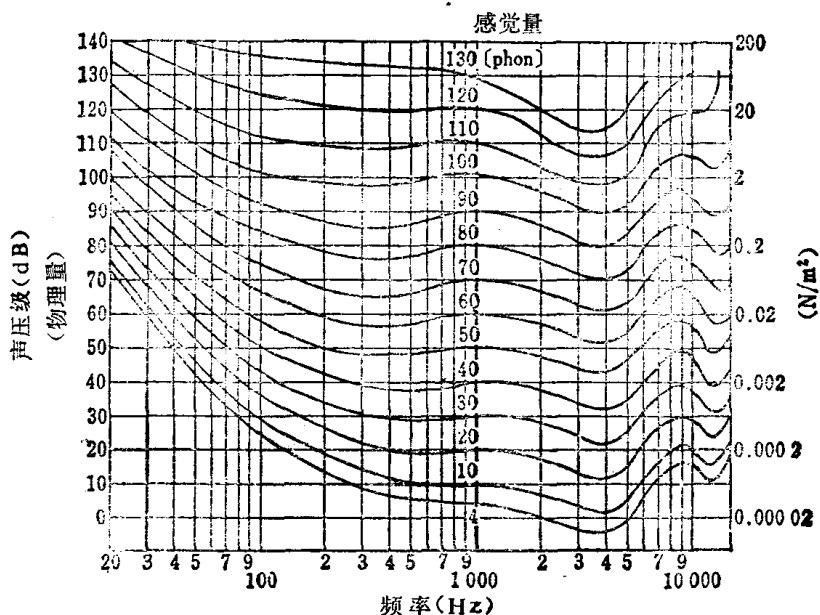


图1-1 等响度曲线(鲁宾逊-戴德森)

了声压级和响度级之间的关系。如图1-1所示,称为等响度曲线,0 phon 是能够听见声音的最小临界值(阈值);120 phon 以上的声音听起来会有疼痛的感觉。

1.2 声级计和计权网络

一般所称的声级计是指标准 JIS C 1502规定的指示声级计[⊖](sound level meter)(指示声级计“指示”的涵义可参阅 1.3.2)。

标准 JIS C 1502采用 A、B、C 三种计权曲线。在测试时按照某一条曲线转换电路。

至于这些曲线,可参阅图1-2。

指示声级计一般都有 A、B、C 档转换开关,通过逐档转换,就能分别选择 A、B、C 的计权特性。

这三种计权特性是以图1-1所示的等响度曲线为基础的,是IEC标准规定的声级计所具有的特性,日本工业标准当然也是以此为根据的。

图1-2的虚线表示允许偏差,粗实线表示特性的中心线。在500 Hz处,允许范围的虚线变细成蜂腰状。根据IEC标准,在1000Hz处缩小允许范围,规定允许偏差为 $\pm 2\text{dB}$ 。为了减少绝对级的校准误差,从附近的反射等影响来看,低频也是有利的。根据日本工业标准,允许偏差的范围应为 $\pm 1\text{dB}$,以便在500Hz处校准绝对级。

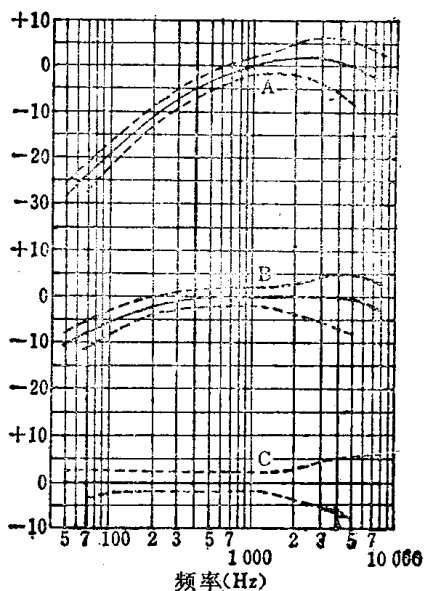


图1-2 指示声级计的频率特性

[⊖] 我国称为普通声级计——译者注。

1.2.1 A特性计权曲线

A特性与图1-1等响度曲线中40 phon的曲线基本一致。40 phon是比较弱的声音，对于弱的声音一直都用A档；对于60~80 dB中等程度的声音用B档；对于80 dB以上比较强的声音用C档进行测试。噪声对人的影响，不仅考虑响度，而且要考虑噪度。对于比较强的声音也采用A特性，可以认为完全符合心理声学，是较为现实的。此外，根据响度转换特性既烦琐，又容易产生混乱。因此现在对所有噪声一般都采用A特性。

例如国际标准化组织（ISO）提出的“汽车噪声的测试方法”、“一般机械噪声的测试方法”以及日本工业标准规定的“噪声级测试方法”等，都建议采用A特性进行测试。

此外，由于噪声频谱的分布不同，用A特性测出的比值用C特性测出的值低几分贝到十几分贝。

在数据后面最好注明A、B、C。

例如：30dB (A)。

1.2.2 B特性

它大致与70phon的等响度曲线相对应。这一特性以后很少采用。

1.2.3 C特性

它大致与85phon以上的等响度曲线相对应，一直用于测量比较强的声音，但是如上所述，今后所有噪声大都采用A特性。

因为C特性的频率响应平直，所以进行频率分析时多用这一特性 $\ominus$ 。

此外，用活塞发声器校准时，一般也用C特性 $\ominus$ 。

1.2.4 D特性

这是考虑噪度的计权特性，专门用于测量飞机噪声。

1.3 声级计的分类

声级计可以分为以下五种：

$\ominus$ 有线性档的精密声级计，应该用线性档。——译者注

- (1) 简易声级计;
- (2) 指示声级计或普通声级计;
- (3) 精密(指示)声级计;
- (4) 脉冲声级计;
- (5) PN dB声级计(D特性声级计)。

1.3.1 简易声级计

测量噪声一般用指示声级计,但是指示声级计价格昂贵,考虑到使用简单而又价廉的测试仪器也能满足测量要求,首先制订了简易声级计的标准——JIS C 1503。

简易声级计必须价格低廉,所以采用价廉的晶体传声器,结果性能较差,不够稳定,因为价格低廉,以前经常使用。

但是测量噪声的机会越来越多,用廉价的测试仪器,结果测量误差大,测定值是否可靠成问题。现在已经进入不仅简易声级计,而且指示声级计也显得误差过大的时代,所以简易声级计逐渐被淘汰了。

1971年9月20日环境厅通过的噪声限制法(1970年12月20日修订)明确指出,简易声级计不能作为汽车噪声的测试仪器。作为声级计的使用方向,这个例子很有意义。简易声级计应该逐渐被指示声级计代替。

1.3.2 指示声级计或普通声级计

测量噪声,一般使用指示声级计。通常说的声级计多半指这种指示声级计。在日本工业标准 JIS C 1502 中作了规定。这项标准是根据“声级计推荐标准”(IEC R 123)制订的。

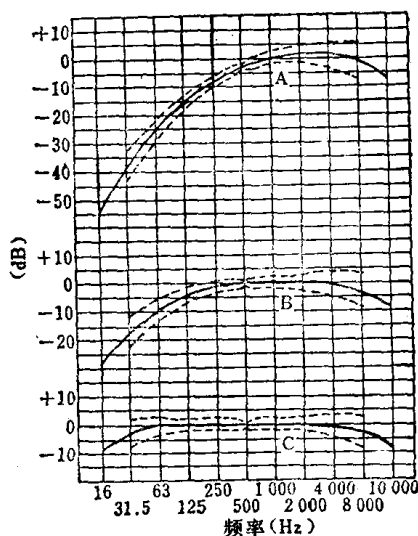


图1-3 简易声级计的频率特性

日本把声级计称为指示声级计很有意思。因为对于任何噪声都不局限于测量声级，所以专门把它称为声级计是不合适的。以前曾把外文直译为音位计或音量计，但是在日本工业标准中都予以统一，称为指示声级计。

指示声级计专门加上“指示”一词是很妙的。二次世界大战以前，有一种声级计称为巴克郝赞式，它用一只耳朵听耳机里发出的电信号声，用另外一只耳朵听被测声，调节电信号声的大小到和被测声一样响时，电信号调节器的刻度盘上的读数就是所测的噪声值。

这样，噪声的大小就不能单纯用指示器观测了。现在使用的声级计和上述巴克郝赞式的指示方式不同。为了明确区分这二者的差别，因而产生了指示声级计这一术语。

可是从1973年7月起实施的新订的声级计计量法把标准JIS C 1502规定的指示声级计称为普通声级计。今后普通声级计的叫法将通用下去，本书决定以后除日本工业标准以外，也用普通声级计这一名称。

1. 最近普通声级计的动向

图1-4是最新的普通声级计，它最大的特点是采用了电容式传声器。以前只有精密声级计才采用电容式传声器。

日本指示声级计的传声器主要是使用电动式传声器，其理由如下：

(1) 电容式传声器价格昂贵，而且娇气，作为一般使用，操作困难。

(2) 具有特性较好的电动式传声器，也勉强可以供声级计使用。

使用桑肯麦克公司制的MR-3型、MS-9型等传声器，只要8万日元就能买到基本符合日本工业标准规定的声级计，这种声级计已经得到普及。但

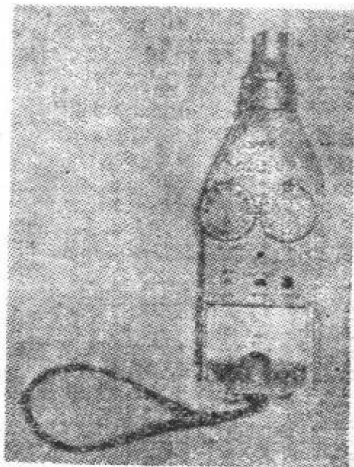


图1-4 最新式的普通声级计 (PS-101C型)

在使用时，它有下列明显的缺点：

(1) 即使频率特性良好，也因凹凸不平，不能成为一条直线，所以测量值不一致。

(2) 重量大。为了改善电动式传声器的性能，必然要加重背压结构。

(3) 由于很难使用标准声源—活塞发声器，所以校验误差不能简单进行。

(4) 可动线圈容易断线，造成故障，而电容式传声器使用可靠。

(5) 电动式传声器受到漏磁场和电磁场感应，以致误差大。

基于上述情况，最近研制出价格低廉，性能良好而且坚固耐用的电容式传声器。使用这种传声器的声级计虽然比电动式的约贵20~40%，但是它弥补了电动式传声器的缺点，受到了高度赞扬，展示出今后的发展方向。

图1-4所示的声级计就是其中一种，其特点是：

(1) 重量轻。包括传声器在内仅980g。

(2) 性能优越。沿着允许偏差的中心线，达到了精密声级计的一般性能。

(3) 可以用活塞发声器准确地进行绝对校准。

(4) 这种电容式传声器使用方便，坚固耐用。

(5) 不受电磁场感应。

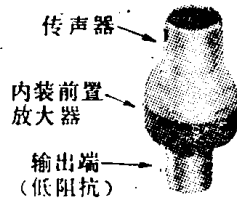


图1-5 指示声级计用的电容式传声器

1.3.3 精密（指示）声级计

精密声级计 (precision sound level meter) 的标准有 IEC R 179，所以日本工业标准就不再另行制订了。下面简单介绍一下标准 IEC R 179。

1. 频率特性

它的允许偏差比指示声级计要求更加严格。在指示声级计的