

现代录音技术丛书

THE AUDIO  
RECORDING  
HANDBOOK

录音工程师手册

周小东 编著

中国  广播电视出版社  
CHINA RADIO & TV BROADCASTING PUBLISHING HOUSE

## 图书在版编目 (CIP) 数据

录音工程师手册/周小东编著, —北京, 中国广播电视出版社, 2006.1

(现代录音技术丛书)

ISBN 7-5043-4771-X

I. 录… II. 周… III. 录音—工程技术人员—技术手册 IV. TN912.12—62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 117078 号

## 录音工程师手册

编 著	周小东
责任编辑	刘 君
封面设计	郭运娟
责任校对	谭 霞
监 印	陈晓华
出版发行	中国广播电视出版社
电 话	86093580 86093583
社 址	北京市西城区真武庙二条 9 号(邮政编码 100045)
经 销	全国各地新华书店
印 刷	河北省高碑店市鑫昊印刷有限责任公司
开 本	787 毫米 × 1092 毫米 1/16
字 数	420 (千)字
印 张	26.25
版 次	2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月第 1 次印刷
印 数	4000 册
书 号	ISBN 7-5043-4771-X/TN·343
定 价	48.00 元

(版权所有 翻印必究 · 印装有误 负责调换)

## 内容简介

本书以实际录音流程为线索，从原始的物理声信号激发到包括混音及母带处理的后期制作工艺，对各环节中的技术要点作了较为系统详细的阐述及说明。其中包括录音声学基础，换能器设计与应用，调音台及周边信号处理设备的原理及应用，模拟及数字信号存储系统，二声道到多声道立体声原理及拾音制式，乐器声学及乐器拾音，音频节目后期处理工艺等，本书主要面对目前在本专业内的在校学生及处于一线工作的录音制作人员。

## 现代录音技术丛书

- ◆ 立体声拾音技术 李 伟 编著
- ◆ 音乐录音 李大康 编著
- ◆ 声频测量技术 朱 伟 编著
- ◆ 声音与人耳听觉 陈小平 编著
- ◆ 扬声器和传声器原理与应用 陈小平 编著
- ◆ 流媒体技术及应用 胡 泽 赵新梅 编著
- ◆ 计算机数字音频工作站 胡 泽 雷 伟 编著
- ◆ 录音工程师手册 周小东 编著
- ◆ 录音专业英语 刘晓飞 毛 雨 编著

责任编辑：刘 君

封面设计：郭运娟

## 总 序

1877年，爱迪生发明“留声机”，揭开了人类文明发展最为激动人心的一百年的大幕。在这一百年中，产生了人类有史以来最有影响力的传播媒介和艺术形式，而它们无不与录音技术有着深刻的联系。

电影是第一个成熟的视听艺术样式，在它的数次具有里程碑意义的变革当中（电影的发明、有声电影的诞生、彩色电影的出现和宽影幕的采用），有声电影的诞生无疑是最具革命性的。

1926年，美国电影业设计出一种与无声影片同步的电唱机，生产出用电唱机放声的有声电影。1927年，美国福克斯有声电影新闻公司发明将声音调制在电影胶卷上的方法。同年，华纳公司拍摄了音乐故事片《爵士歌王》(Jazz Singer)，这部影片不仅有音乐，还有一部分对白，因此被认为是声音正式进入电影的标志，它的出现，使伟大的“第七艺术”的奇迹得以真正完成。1928年，华纳兄弟公司进一步完善了有声电影技术，拍出了具有全部对白的真正有声电影《纽约之光》，自此，电影正式跨入了一个新的时期。

广播作为影响最大的大众传播媒介之一更是音频技术的直接产物。

1902年，美国人巴纳特·史特波斐德在肯塔基州穆雷市进行了第一次无线电广播。1920年，美国在底特律、旧金山和匹兹堡开始了商业无线电广播。1933年，阿姆斯特朗发明宽带调频原理，首次进行调频广播。20世纪50年代末，美国工程师赖纳德·康最先研制出立体声广播系统。1960年，蒙特利尔广播站首次应用赖纳德·康的系统进行立体声广播。

广播的发明使人们第一次可以远距离传送自己的声音，第一次可以在

广大的空间里对无数的听众进行信息传递活动。声音使人类首次体会到了“同时”和“零距离”的威力。

而稍后出现的电视的影响力更是超越了此前的任何一种传播媒介。

1929年，英国人贝尔德（1888—1946）发明了电视。1955年，美国无线电公司宣布实验成功磁带彩色录像机。1956年，美国菲舍无线电公司研制出具有晶体管放大器的磁带录音机。1958年，美国安皮克斯公司生产出商用彩色录像机。

作为视听媒介，声音也同样是电视的半壁江山。

录音技术也对原有的艺术样式产生了深刻的影响。音乐、戏曲、戏剧、文学等等传统艺术插上了“电子”的翅膀，为更多的人所接受。

以音乐艺术为例。录音技术的发明使人类的音乐文化传播发生了质的变化，使人们能够永久存储、广泛传播艺术家们的精湛表演，同时还催生了前所未有的音乐艺术样式。

纵观20世纪的艺术发展史我们可以发现，声音技术不仅是电子媒介的基础和电子艺术的摇篮，而且它的每一次技术飞跃都为艺术提供了更广阔的表现空间；而艺术创作也不断为技术发展提出新的要求与课题。

1931年，英国工程师布龙莱茵研制出横槽和直槽的双音迹立体声唱片。美国贝尔电话实验室首次通过电话线传送立体声交响乐。1954年，美国生产双迹磁带立体声录音机。三年后英国和美国生产出第一批商用立体声唱片。到20世纪50年代中期，立体声技术得以广泛运用，并在此后的近半个世纪中使视听艺术的创作得到空前的发展。立体声技术极大地改善了音频制作的质量，它使我们能聆听到位于正前方的两个音箱轴线之间的一个宽阔的立体声声场，领略声音的细腻的音质和层次感。

与此同时，人类开始了环绕声技术的探索。

1965年，美国科学家Ray M. Dolby在伦敦创办了杜比实验室，从事音响器材、降噪系统和环绕声技术的研究，陆续开发出了多种实用的环绕声编解码技术。

DTS公司和THX公司也分别开发了自己的环绕声技术，并在艺术创作和商业领域都取得了成功。

20世纪90年代后，日本SONY电影设备公司研制开发出SDDS制式，它是具有7.1声道的8路数字环绕声系统，其市场前景也颇具潜力。

音频技术领域发生的最为深刻的变革无疑是数字化和计算机技术的

运用。

20世纪后半期开始飞速发展的计算机技术，使人类历史进入到了一个数字时代。如今，数字技术已经渗透进人类生活的各个层面，并深切改变着我们的生活状态和生存方式。

数字技术介入电影制作领域之后，带给电影的不仅是高清晰度的画面和奇幻的视觉享受，在进入电影音频制作领域后在听觉上也带给了人们高保真度的全新震撼体验。人们纷纷走进电影院，享受数字视觉奇观以及身临其境的环绕立体声享受。

即将来临的高清电视时代，也将是环绕声的时代。

正是在这样的背景下，人们对音频技术掌握的渴求突显了出来。“现代录音技术丛书”可以说是应运而生，作者大都多年从事录音节目制作和理论研究，每一部著作都凝结着他们的心血，既有多年来节目制作的宝贵经验的总结，也有填补国内理论空白的篇章。

这是一个“专家”的时代，又是一个“综合”的时代。社会分工越来越细，每个人都必须成为某一领域的“专家”，精通自己领域的“技能”。同时我们又必须越来越多地和不同领域的“专家”合作，在一个复杂的体系中完成协作。

广播电视就是这样一个庞大、严密的体系，这里需要各种各样的专门人员，他们又必须进行精巧的合作，以完成讯息传递、艺术创作的任务。本丛书是为广播电影电视领域从事声音制作的专门人员而编撰的，同时也希望成为其他从事广播电影电视工作、音像制作、远程教育等等专业人员的参考书目。

谨以此书献给我的家人及那些正工作在  
录音第一线的朋友们！

——周小东



# 目 录

<b>第一章 录音声学基础</b> .....	( 1 )
1.1 分贝 (dB) .....	( 1 )
1.2 VU 表、峰值表及相位表的使用 .....	( 7 )
1.3 声波的自然传输 .....	( 11 )
1.4 声干涉 .....	( 15 )
1.5 声强、声功率及声压级 .....	( 19 )
1.6 心理声学在录音节目制作中的作用 .....	( 20 )
1.7 建筑声学在录音节目制作中的作用 .....	( 36 )
<b>第二章 换能器：传声器与扬声器</b> .....	( 67 )
2.1 传声器设计 .....	( 67 )
2.2 麦克风特性 .....	( 73 )
2.3 其他类型的麦克风 .....	( 89 )
2.4 麦克风前置放大器 .....	( 93 )
2.5 麦克风接头 .....	( 97 )
2.6 麦克风电缆 .....	( 100 )
2.7 扬声器设计 .....	( 104 )
2.8 扬声器特性 .....	( 115 )
2.9 塞勒 - 斯莫尔参数 .....	( 120 )
2.10 号筒及组合扬声器 .....	( 122 )

<b>第三章 调音台及音频信号处理系统</b> .....	(125)
3.1 调音台设计 .....	(125)
3.2 调音台应用 .....	(129)
3.3 模拟调音台技术特性 .....	(136)
3.4 调音台声道编组 .....	(137)
3.5 调音台自动化系统 .....	(138)
3.6 信号处理设备原理 .....	(141)
<b>第四章 音频信号存储系统</b> .....	(167)
4.1 磁记录系统 .....	(167)
4.2 数字信号记录系统 .....	(206)
4.3 带存储系统 .....	(226)
4.4 盘存储系统 .....	(243)
4.5 信号传输与连接 .....	(259)
4.6 计算机音频文件格式 .....	(268)
<b>第五章 二声道, 三声道及多声道立体声原理及拾音技术</b> .....	(271)
5.1 二声道幻象声源的建立 .....	(271)
5.2 二声道信号格式 .....	(274)
5.3 二声道立体声拾音技术 .....	(275)
5.4 三声道 (3-0) 立体声 .....	(291)
5.5 四声道 (3-1) 立体声 .....	(292)
5.6 5.1 声道 (3-2) 立体声 .....	(293)
5.7 其他多声道音频格式 .....	(298)
5.8 环绕声系统 .....	(299)
5.9 环绕立体声拾音技术的建立与发展 .....	(308)
5.10 原场麦克风原理.....	(319)
<b>第六章 乐器声学及乐器拾音</b> .....	(326)
6.1 弦振动乐器声学原理及拾音方式 .....	(327)

6.2	空气柱振动乐器声学原理及拾音方式 .....	(340)
6.3	膜振动乐器声学原理及拾音方式 .....	(347)
6.4	自共振乐器声学原理及拾音方式 .....	(354)
6.5	钢琴的声学原理及拾音方式 .....	(356)
6.6	手风琴的拾音方式 .....	(362)
6.7	人声拾音方式 .....	(363)
6.8	乐团拾音方式 .....	(367)
<b>第七章 混音及母带制作技术</b> .....		<b>(377)</b>
7.1	音质主观评价基础 .....	(377)
7.2	双声道立体声混音技术 .....	(381)
7.3	多声道立体声混音技术 .....	(393)
7.4	母带制作技术 .....	(396)

# 第一章 录音声学基础

## 1.1 分贝 (dB)

分贝是声级测量中最常用的单位，被简写为 dB。其中小写 d 代表英文 decibel 即分贝，而大写 B 代表 Bel 即贝尔，采用小写 d 和大写 B 主要说明分贝和贝尔之间的关系为 1:10 即 1 分贝等于十分之一贝尔。根据测量，火箭推进器的声压级可以达到 180 dB，一个较为安静的音乐厅的底噪则在 30 dB 左右，一般声压表可测量的范围在 0 dB 到 140 dB 之间。这里应注意，0 dB 并非代表完全静寂状态，而是代表人耳的听阈点，也就是听力正常的人所能觉察到的最低声压级。因此，0 dB 在众多声学测量及录音制作当中通常被立为参考标准。0 参考值所代表的声压级为  $0.00002 \text{ dynes/cm}^2$  (达因/平方厘米)，或用声强表示为  $0.000000000001 \text{ watts/m}^2$  (瓦/平方米)。举例来说，尽管一个经过声学处理的录音室在听感上表现得非常安静，但由于空气流动的自然性，仍然在部分频率表现出 25 dB 的声压级，此时，可以说该录音室的环境噪声高出 0 dB 听阈点 25 dB。

在实际工作中，“声”和“电”两个概念上均存在有 0 参考值，正如录音师在实际工作中所观察到的一样，改变监听音量并不能改变 VU 表的数值，因此我们看出对于 0 参考值的两种测量或表达方式，即声功率方式和电功率方式。前者相当于上面谈到的火箭推进器，其中的 dB 值代表高

出人耳听阈的数值，而后者则代表通过 VU 表的电功率。但无论在任何范畴内，dB 的换算均使用相同的公式如下：

$$\text{dB} = 10 \lg \frac{P}{P_r}$$

其中：P = 实际功率测量值，P<sub>r</sub> = 参考功率值。

当在物理声学范畴内对声音进行测量时，公式中的参考功率值 P<sub>r</sub> 代表人耳听阈点的声压级，可以分别用微巴（microbars）、达因/平方厘米（dynes/cm<sup>2</sup>）、瓦/平方米（watts/m<sup>2</sup>）或牛顿/平方米（newtons/m<sup>2</sup>）来表示。这些单位与 0 dB 之间的关系总结如下：

$$\begin{aligned} 0 \text{ dB} &= 0.0002 \text{ microbars} = 0.0002 \text{ dynes/cm}^2 = 0.00002 \text{ newtons/m}^2 \\ &= 0.000000000001 \text{ watts/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{另外：} 1 \text{ microbar} = 1 \text{ dyne/cm}^2 = 0.1 \text{ newton/m}^2$$

$$10 \text{ microbars} = 10 \text{ dynes/cm}^2 = 1 \text{ newton/m}^2$$

根据上述公式，如果一个声源的声强为 10 watts/m<sup>2</sup>，那么该值所代表的 dB 值应为：

$$\text{dB} = 10 \lg \frac{P}{P_r} = 10 \lg \frac{10^1}{10^{-12}} = 10 \lg 10^{(1+12)} = 10 \lg 10^{13},$$

$$\text{得出 } 10 \times 13 = 130 \text{ dB}$$

其中：

$$P = 10 \text{ watts/m}^2 \text{ (声源)}$$

$$P_r = 10^{-12} \text{ watts/m}^2 \text{ (人耳听阈点)}$$

关于声强、声功率以及声压级的具体阐述请参见 1.5 内容。

从上面的计算中可以看出 dB 系统在大声强范围的表达中所显示出的实用、方便和易于管理的特性，因为毕竟我们没有使用 10000000000000 这么大的数值来代表声源高出人耳听阈点声压级的倍数。从心理声学的角度看，人耳对大声强范围同样具有类似的反应特性，例如现在如果再增加一个具有相同声功率的声源，也就是说两个声源相加，声功率变成 20 watts/m<sup>2</sup> 时，根据下面的计算，可以看出实际测量的声压级的变化。

$$\begin{aligned} \text{NdB} &= 10 \lg 20 = 10 \lg \frac{2 \times 10^1}{10^{-12}} = 10 \lg (2 \times 10^{13}) = 10(\lg 2 + \lg 10^{13}) \\ &= 10(0.301 + 13) = 10 \times 13.301 = 133.01 \text{ dB} \end{aligned}$$

从上面的计算中可以看出，声功率增加一倍，声压级只提高了 3 dB，而不是想像中的  $130 \text{ dB} + 130 \text{ dB} = 260 \text{ dB}$ 。

对于电功率来说，在任何电路中，一定量的功率值都呈衰减状态。根据公式  $P = E^2/R$  或  $P = I^2R$ ，可以看到电阻对于功率的作用，并且在电阻值已知的情况下，只要测量出电流  $I$  或电压  $E$  值，就可以得出功率值。如果功率提升的话，我们也可以通过将新功率值和原功率值进行比较得出由于功率增加而所增加的 dB 值。例如一个功率值从  $0.5 \text{ W}$ （公式中的参考值）增加到  $10 \text{ W}$ ，利用下列对数公式可以求出增加的功率所代表的 dB 值：

$$N_{\text{dB}} = 101 \log \frac{P}{P_r} = 101 \log \frac{10}{0.5} = 101 \log 20 = 10 \times 1.301 = 13.01 \text{ dB}$$

在录音室中，由于使用伏特电压表较为方便，又因为功率值一般只有知道电压数值后才能得出，并且在实际测量过程中所使用的电阻值通常不变，所以，我们可以通过伏特电压值计算出两个功率值（ $P_a$  和  $P_b$ ）的比较 dB 值。根据公式  $N_{\text{dB}} = 10 \lg P_b/P_a$ ，以及  $P = E^2/R$  可以得出：

$$101 \log = \frac{\frac{E_a^2}{R_a}}{\frac{E_b^2}{R_b}}$$

由于电阻值保持不变，即  $R_a = R_b$ ，所以上述公式可以简化为：

$$101 \log = \frac{E_a^2}{E_b^2} \text{ 或 } 201 \log = \frac{E_a}{E_b}$$

根据公式可以看到，如果一个穿过电阻的电压从  $6 \text{ V}$  提升到  $12 \text{ V}$  的话，提升的 dB 值应为：

$$N_{\text{dB}} = 201 \log \frac{12}{6} = 201 \log 2 = 20 \times 0.31 = 6.02 \text{ dB}$$

于是得出结论：功率增加一倍代表增益提升 3 dB，而电压增加一倍代表增益提升 6 dB。

### 1.1.1 dBm

从历史的角度看，早期的音频设备从电话工程中吸收了众多技术，其中包括使用 600 ohms 作为信号输入和输出的阻抗，因此在这类设备中，功率匹配变得非常重要，以实现在输入和输出设备之间信号的优化传输。功率匹配作为概念首先由贝尔电话公司提出，并于 1939 年成为标准，于是 dBm 应运而生。图 1-1 为功率匹配下的 600 ohms 阻抗音频信号传输情况。其中 600 ohms 阻抗将在信号源（前置放大输出为 0 ohm 阻抗）和负载设备之间产生 6 dB 的电压损失（线入级放大器输入阻抗 600 ohms）。

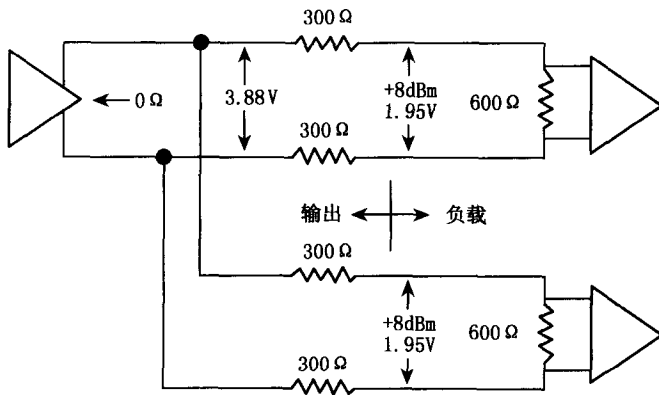


图 1-1 功率匹配下的 600 ohms 阻抗音频信号传输情况

dBm 代表功率 dB 值。其中小写 m 代表标准参考功率 1 毫瓦 (milliwatt)，这主要是因为 dBm 值在进行测量时以 1 毫瓦输入信号为测量参考值，又因为毫瓦是功率单位，所以 dBm 所表示的也应为功率值。由于一般音频设备基本使用伏特表而不是功率表，所以根据欧姆定律 ( $W = V^2/R$ )，在实际工作中必须要知道电压所经过的电阻值后，才能赋予 dBm 一定的意义。由于一般专业音频设备所设的电阻为 600 ohm (150 ohm 也较普遍)，所以 dBm 有时也写成  $\text{dBm}_{600}$ 。概括来说 dBm 就是在标准功率 1 毫瓦的情况下，电压通过 600 ohm 电阻所产生的 0 参考值。根据公式  $P = E^2/R$ ，这个值应为 0.7746 V，即  $0 \text{ dBm} = 0.7746 \text{ V}$  (或通常所说的 0.775 V)。由于电压表设计的精确度并不考虑电阻的因素，所以在实际工作中必须注意当电阻不是 600 ohm 时的情况。例如电阻为 1200 ohm 时，我们可以通过下面的计算得出相应的 dBm 值：

$$NdBm = 101 \log \frac{\frac{E^2}{R}}{\frac{E_r^2}{R_r}}$$

在式中，如果  $R_r$  小于  $R$ ，上述公式可重写如下：

$$NdBm = 201 \log \frac{E}{E_r} - 101 \log \frac{R}{R_r}$$

其中  $E_r$  和  $R_r$  分别代表 0 参考标准，即 0.775 V 和 600 ohm，而  $E$  代表穿过非标准电阻的电压值， $R$  代表一个非标准电阻值。

根据上述公式，可以计算出 0.775 V 穿过 1200 ohm 时，所代表的 dBm 值。

$$NdBm = 201 \log \frac{E}{E_r} - 101 \log \frac{R}{R_r} = 201 \log \frac{0.775}{0.775} - 101 \log \frac{1200}{600} = 201 \log 1 - 101 \log 2 = 20 \times 0 - 10 \times 0.301 = -3.01 \text{ dBm}$$

同时，可以比较在电压一致时，由于电阻不同所产生的不同功率值。

$$P = \frac{E^2}{R} = \frac{0.775^2}{600} = 1 \text{ mW}$$

$$P = \frac{E^2}{R} = \frac{0.775^2}{1200} = 0.5 \text{ mW}$$

从上面的计算可以看出，经过 1200 ohm 电阻的功率值为 0 参考标准电阻 600 ohm 值的一半，所以，正如前面所述，其 dB 值将降低 3 dB。

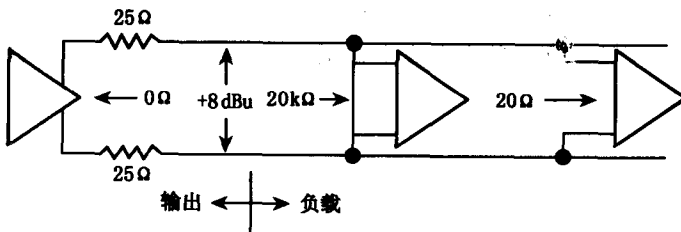


图 1-2 电压匹配下的音频信号传输情况

功率匹配时代终止于低输出阻抗电路的开发。在今天，录音室中的设备输出阻抗一般都低于 100 ohms，同时输入阻抗一般均大于 10 kohms，我们称之为电压匹配，因为在设备之间（由信号源至负载设备）传输的是



信号的最大电压而不是功率。此时如果将 0.775 V 电压作用于负载设备的 10 kohm 输入阻抗, 所代表的功率值只有 0.06 mW, 因此, 在今天的录音室中, 常采用 dBu, dBV, 以及 dBv 来对信号进行测量, 而 1 mW 参考值已不具备实用性。图 1-2 展示了电压匹配下的音频信号传输情况。信号源的输出阻抗为 50 ohms, 负载阻抗接近 20 kohms, 信号电平以 dBu 表示。标准操作电平 (SOL) 为 +4 dBu (通常被认为是北美标准)。

### 1.1.2 dBu (0.775 伏特参考值)

dBu 代表以 0.7746 V (或 0.775 V) 为参考值的伏特 dB 值, 单位为 dBu (u 代表单位 unit, 0 dBu = 0.7746 V)。虽然这里的 0.7746 V 与 dBm 中所体现的 0.7746 V 值一样, 但 dBu 只有在电阻为 600 ohm 的电路中才与 dBm 在数值上取得一致。因此, 与 dBm 不同, dBu 在概念上与电阻并没有直接关系。

### 1.1.3 dBv (0.775 伏特参考值)

上述的 dBu 有时会被写为 dBv, 代表以 0.775 V (或精确到 0.7746 V) 为参考值的伏特 dB 值。dBu 和 dBv 是两个完全相同的概念 (dBu 通常被认为是欧洲标准, dBv 通常被认为是美国标准), 因此 1 dBv = 1 dBu。另外, dBv 也代表了一种在实际工作中, 阻值不明确, 无法计算 dBm 值时所使用的一种简便的直接读表方式 (这种直接读取的测量方式通常以 dBv 为单位)。尽管这种读取方式所产生的数值并非 dBm 值, 但经过 dBm 的转换公式可以得出相同的结果。在该类测量中, 0 参考电压值通常没有被明确指出 (当然, 在一些专业表上也指出了 0 参考电压值, 例如 0 dBV = 1 V, 0 dBv = 0.775 V)。

### 1.1.4 dBV (1 伏特参考值)

在实际工作中, 使用 600 ohm/1 mW 的参考标准通常不是很方便, 于是我们通常会看到这样的描述: 在一个麦克风前所形成的一定声压级使话筒输出为 -55 dBV。dBV 的 0 参考值为 1V, 也就是说 dBV 是以 1V 为参考值的伏特 dB 值, 即 1V = 0 dBV。因此, 如果一个话筒输出电压为 0.0005 V, 那么, 该话筒的 dBV 输出计算如下: