

波与信息

无线电电子学基础 第三分册

[美] J. R. 皮尔斯 著



科学出版社

73.45
164.1

波 与 信 息

无线电电子学基础 第三分册

〔美〕J. R. 皮尔斯 著

伊 清 译

21C565/18

科学出版社

1974

内 容 提 要

本书是《电子与波》和《量子电子学》两书的续篇，书中以通俗的语言介绍了电报、电话、电视等通信技术的原理及现代通信技术中的一些问题，如信息的产生和发送、通道的安排、空间通信等等。

本书可供具有中等文化水平的读者阅读。

J.R. Pierce

WAVE AND MESSAGES

Doubleday & Company, New York, 1967

波 与 信 息

无线电电子学基础 第三分册

[美] J.R. 皮尔斯 著

伊 清 译

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1974年11月第一版 开本：787×1092 1/32

1974年11月第一次印刷 印张：3

印数：0001—52,450 字数：65,000

统一书号：15031·91

本社书号：417·15—7

定 价：0.26 元

译者前言

电话、电报、无线电和电视，今天已经成为人们日常生活和工作中广泛使用的通信工具了。但是，关于它们的工作原理、它们所面临的问题、以及它们未来的发展，恐怕还有许多人是不太了解的。皮尔斯的《波与信息》这本书可能有助于读者了解这些问题。

这本书是《电子与波》和《量子电子学》的续篇。在书中，作者以较为通俗的语言，介绍了现代通信技术的简单发展历史、主要问题和解决的途径；并用较多的篇幅扼要讨论了信号的传输、通信理论、空间通信和通信网等问题。在叙述中，作者特别讨论了通信技术与人的听觉及视觉的关系，强调通信技术要适应人的生理特点和需要。

译者删节了原书中少数与科学内容无关的议论，并在某些地方作了简单的注解。

译者

1974年6月

目 录

译者前言	i
第一章 通信是为人服务的	1
第二章 电视摄象	15
第三章 信号和通道	31
第四章 通信理论	49
第五章 空间通信	64
第六章 真正的挑战	77
附录 I 分貝	88
附录 II 波和频率	90
附录 III 频移	91

第一章 通信是为人服务的

我小的时候正是无线电广播的初期，我自己装矿石收音机和电子管收音机，虽然我还不完全懂得它们的道理，但对拆拆装装却很入迷。这恐怕主要是出于好奇心。

这种好奇心经过多年，至今不减，而且变得更加强烈。好奇的心情没有消失，而是增加了一些新东西——喜欢思索“为什么”和“怎么样”。小的时候，我非常细心地搜寻远处的电台——当时叫做远距离电台搜索（DX）——兴趣所在首先是找台，收听内容倒在其次。当时我所感兴趣的是无线电的现象，而不是无线电的用途。现在使我惊叹的是，人们建立了为他们服务的那么庞大的电子设备系统，而且它是那么细致地适应人们的使用要求。

打字电报机的键盘是与人手相适应的，每分钟可以传送六十到一百个字，说慢，不致于慢得叫人发火；说快，也不过份超过发报员所能达到的一般速度。电话的声音大小、信号噪声比和频率范围都适于很好地传送清楚人的语言。播送收音机节目和电视节目音响部分的伴音线路有较大的频带宽度和较小的噪声。在电视当中画面必须很清晰，或者说图象不能很模糊，而且图象要按一定顺序以足够快的速度传送，以免发生闪烁颤动。除此之外，噪声与信号相比还必须很低，保证我们称为“雪花”效应的干扰减小到允许的程度。

由此可见，人们对通信手段的评判标准是根据人的能力制订的——即根据我们动作的速度、听力和理解力的敏锐程

度，以及视觉的能力和限制。有一位科学幻想小说家臆造出一个精神感应原生质滴的世界^{*}，在他的故事里电报打字机毫无用武之地，因为在那里用不着文字，文字也不能起作用。在沒有空气的行星上可能有生命，但是因为沒有大气运载声音，所以不可能有电话。一个电话系统，即使它的所有部件都功能完好，一旦搬上月球，就将变成哑吧而毫无用处。一个靠雷达或嗅觉感知外界的“盲”动物，按人类标准设计的电视机对它将是沒有用的。它将需要另一种不同的通信手段，其发送和接收装置也将不同，而且大抵可以推测，对于频带宽度和噪声的要求也是不同的。

恐怕我年青的时候对于通信中人的这种因素沒有注意，或者认为理所当然，就象自古以来人们认为说话是理所当然一样。古代希腊人能够想象出普罗米修斯赐给人类天火，教人技艺和文字，但他们却认为人是天生会说话的，而且据说，在古巴比伦建造巴别通天塔以前，所有的人都说同一种语言。

现在，科学家们对于人类的生理局限性以及科学家们自己对于这些问题的疏忽，变得越来越重视了。实验心理学家和神经生理学家努力研究和测量我们的看、听和说的能力。心理学家、语言学家和计算机专家拚命想研究出语言的结构和功能，想从中获得一种知识，以便使机器能够说英语和写英文，或者把一种语言翻译成另一种语言。

然而，在通信技术的早期，对于人类的感觉和能力缺乏系统研究，机器也沒有很好地适应人的需要。十九世纪前半叶的信标机发报法，把消息从普鲁士传播到彼得格勒，从柏

^{*} 即指这种原生质滴的生物不是通过某种物质的手段，而是通过一种精神感应而相互通信的。这完全是一种唯心主义、神秘主义的想象。——译者注

林传播到特里尔。从巴黎到土伦沿途 425 哩的山顶上竖立着 120 座传送塔。发送员把很大的臂杆摆在一个位置代表一个特定的信号；接收员用望远镜远远地望见这个信号，并加以重复，这样就可以把信号传给下一站。传送一个信号大约要用一分钟。也许是由于技术原始，也许是由于设计不当，这种信标通信与我们所知道的人的能力和需要比较显得太慢了，但是这种方法在当时还是了不起的。

1832 年莫尔斯 (Morse) 发明了电报，但当时他还远远没有做到使电流和电磁铁适于人的使用。在他的工作中始终贯穿着一个因素——就是想用接通和断开一个电路的方法造成信号，从而使远处产生一个电磁体来驱动一个铁心。但是，接通和断开电流的办法以及产生电磁体的方法经过很多改变。

在莫尔斯的最初装置中，电流的接通和断开是靠挪动一种金属插销插在一个跨过电接触点的“板孔”中的位置来实现的。在接收端，当电流接通的时候，电磁铁压下一个笔尖，在一张不断移动着的纸上划出划痕，于是，划在纸上的一连串的短线就再现了孔板上的金属插销的位置。

为了组编信息，莫尔斯用数码代表单词。在发送端，发送员必须查出对应于每个单词的数码，然后用孔板发送这些数码。在接收端，收报员把纸带上的符号先译成数码，然后再查出相应的词。

这种早期的电报既笨又慢。在维尔 (Vail) 和莫尔斯合作以后，电报才有了一系列重大的改进。在他们合作期间，创造了莫尔斯代码。在这种代码系统中，用点（短时电流）、线（较长时电流）、空（无电流）的适当搭配代表字母和数字。在这种巧妙有效的代码中，用简短的点线组合代表常用的字母（例如用一个点代表 e），用较长的代码代表不常用的字

母。不象数码和单词的对应表那样复杂，这种代码可以在心里默记。

在这个时期，还有两项重要改进使电报进一步适应于人的使用。第一项改进是在信号的接收方面。人们发现，收报员用不着读纸带上的符号，当电报机的磁铁吸引和放松衔铁的时候，他只需要悉心倾听那“的、的、哒、哒、”的声音就行了。也就是说，一种简单的音响，不用笔尖和移动纸带，比原先的接收装置更适合于人使用。进一步，人们又发现，电流按一定顺序的通断可以靠操纵一个简单的开关或电键来实现，用不着来回移动那跨过接触点的粗笨的孔板插销。

莫尔斯代码、电键和音响接收使电报大大简化，收发报的速度大大提高了。这种进步并不是由于电气功能的速度和可靠性的提高，应该说，代码、电键、音响只不过是使人能够更有效地利用电流、电磁铁和衔铁，这些东西一开始就是电报技术的基础。

电报代码是一种人为的字母；可以用来代替罗马字母和阿拉伯数字。电键代替笔，耳朵听声音代替眼睛读纸带。电报工作得和过去一样好。这是人类机智才能的胜利。

电话一出现就显得更简单，更有生命力。它能再现人的声音，打电话只需要说和听。实质上，电话也的确是比较简单。送话器有一个金属薄膜，它可以准确地反映我们说话时声波压力的迅速变化。这个振动薄膜改变一小撮细碳粒所受的压力，这个压力变化又改变这个两端加以恒定电压的电阻的电阻值。当我们对着送话器说话的时候，我们就发出了一个变化不定的电流。这个电流进入受话器的电磁铁，使电磁铁以与电流成比例的力量来吸引一个薄膜。这样，受话器里的薄膜就再现了送话器里的薄膜的动作；也就再现了使送话

器薄膜发生振动的声波。

电话能够很好地工作，使所有的人感到惊奇，甚至连贝尔（Bell）也感到惊奇，因为他知道说话的声音是多么微弱。开头，电话只能传送微弱的自然声音。在电子管变得完善和用在远程电路作放大器以前，电话的声音确实十分微弱，无法横跨大陆。但随着放大技术的出现，又产生了一些问题。要有较响的信号、较宽的信号频带宽度、较低的噪声，都需要较高的费用。是努力改进呢，还是仅仅在原有条件下做得尽可能好呢？还有，“尽可能好”是什么意思呢？

第一次世界大战发生不久，贝尔电话实验室的富莱彻（Fletcher）和他的同事们开始进行一套针对这些问题的综合研究计划，这套计划开创了现代心理声学的发展道路。心理声学是一门难搞的科学，对于个别人以及“一般”人的测试仍在不断地修正和改进。但是，我想，讲一点已经搞清楚的东西可能是大家感兴趣的，虽然我将要引用的数据不一定完全正确。

这里讲的有一部分是关于听觉的一般特性。我们能听到的最微弱的声音有多大？我们能够“感觉到”（可能是吃力地感觉到）的声音最低强度有多高？美国公共卫生服务局曾利用富莱彻和他的同事们所创制的设备，对有代表性的一批美国人的听觉灵敏度进行了一次调查。调查结果示于图 1。

图 1 中左面纵座标之一称为“强度级”，用“分贝”表示。这是我们以后要多次使用的一个术语，我们可以在这里先熟悉一下。分贝是两个功率之比的量度。假设两个功率分别为 P_1 和 P_2 ，就说 P_1 比 P_2 大 $10\log_{10}(P_1/P_2)$ 分贝（或 db）¹⁾。

1) 在附录 I，对分贝有较详细的解释。

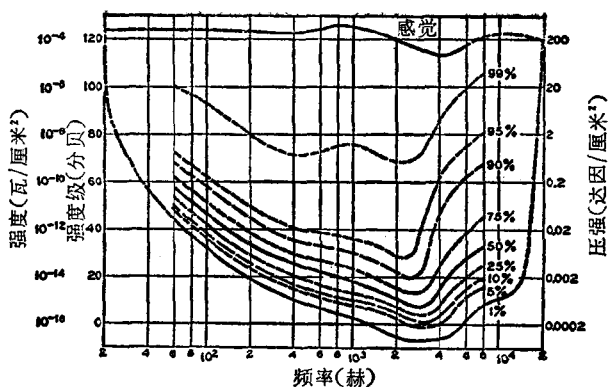


图 1

例如，在图 1 我们可以看到，一个强度为 10^{-14} 瓦/厘米² 的声音比一个强度为 10^{-16} 瓦/厘米² 的声音大 20 分贝¹⁾。

让我们来看看图 1 的内容。由图可见，绝大多数人能听到的声音是在 100 周以上到 8000 周以下的频率范围之内²⁾。由图还可以看出，耳朵的敏感度随频率的不同有很大出入。对于 3000 周左右的频率，耳朵最敏感。刚刚能听得见的 100 周的声音，其强度约等于能听得见的最微弱的 3000 周的声音的 5000 倍。

还可以看出，耳朵的敏感度因人而异。在受到测试的一批人当中，50% 以上的人能听到的最弱声音比听力最好的人

1) 这是大家熟悉的测量电功率的瓦，在这里用来量度声波的功率。声音冲击一堵大墙的功率比冲击墙的一部分的功率大，因此，测量声波强度的适当标准应是功率密度，就是瓦/厘米²。

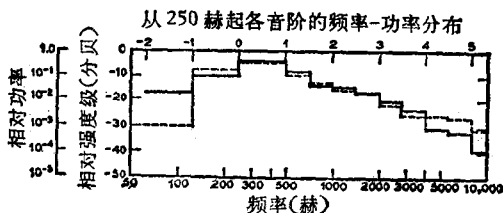
2) 在任何周期性(即准确重复)的运动中都有一个完整的变化周期，从起点经过特定的重复运动再回到起点。例如，波的周期是从波峰起经过波谷再回到波峰。每秒钟的周期数称为频率。更详细的说明请参阅《电子与波》一书的第五章。

能听到的最弱声音，强度大二十倍或更多。

听觉只是语言通信的一个方面。另一个方面是说话的特性。说话功率的频率分布是很重要的。富莱彻曾经在距离一个说话者的口唇30厘米的地方测量相连的每个音阶（在低频段）和每半个音阶（在高频段）的压强。图2中的那些水平实线是男声，它表示在每一个频带中男声的功率比整个话音的平均功率*低多少分贝。虚线是女声。

图1说明，耳朵最敏感的频带在3000周左右，但图2说明，说话功率最高的频带在300到500周左右。因此，在语言通信中使用的最重要的频率并不就是耳朵最敏感的频率。

图1和图2所提供的数据对于一般地了解说话和听觉是很重要的。但是，要设计一个电话系统，还需要有更专门的数据。必须解决的一个关键问题是有关电话传送的频带宽度或频率范围的问题。电话是一种实用的装置，我们希望电话里讲的话能够听懂。我们在一个声音嘈杂的房间里听人讲一句话，虽然不能字字听清，却往往能猜懂话的意思。但有的时候我们不能用猜的办法，因此，对于电话来说，最好还是坚持能让我们字字听得清。



* 即指所有各频率的话音的功率的平均值。——译者注

一个最能确切说明电话通信的特性的是清晰度，它的定义是，对于对方发出的没有意义的音节的声音，能够正确识别的百分比。图 3 表示，当去掉语言中的低频（向右下垂的

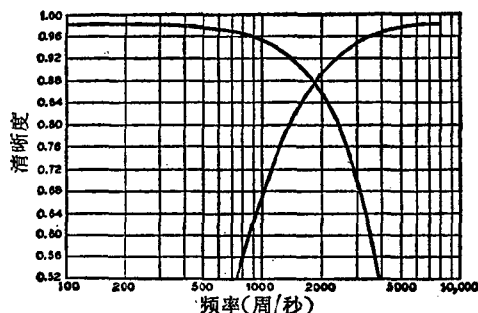


图 3

曲线)或高频(向右上升的曲线)部分以后，清晰度是怎样变化的。

电话里传送的频率是 200 周到 3200 周。从图可以知道，这个范围将使清晰度的降低很小。但我一个朋友

还是发现，用电话很难传送他的原话 F K.。听者往往误以为他在说 S. K.。在用数码代替电话局名称的头两个字母以前，人们呼叫电话时常常因听错这两个字母而带来麻烦。电话是很好的，但它并不完善。

我们还必须知道，传送给电话用户的信号应当有多大的响度。在这里，应该关心的是用户各自的主观感觉而不是可懂度。在图 4 中，横座标是送到标准电话机的语言信号水平，用音量单位 (vu) 表示，这几条曲线表示出对于一个一定的水平，认为它不好、太线和太高的人数百分比。可以看出，-28 音量单位左右是所有的人都满意的，-20 到 -35 音量单位之间是可取的。

* 即指传送的电话信号里，虽然去掉了原说话人语音中的低频和高频的部分，但是因为保留了 200 周到 3200 周范围的频率，清晰便不会有很大的降低。——译者注

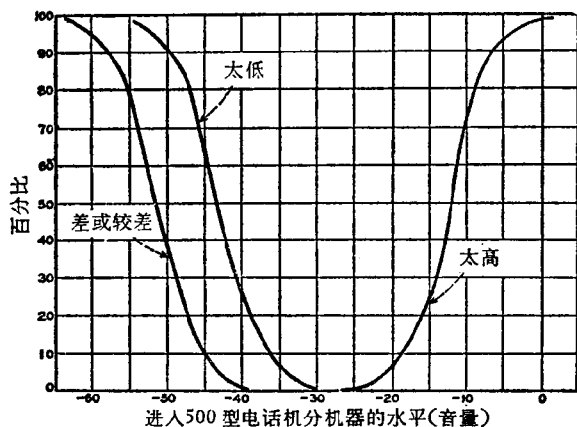


图 4

噪声可以造成干扰，噪声太多可以遮蔽语言，使语言变得不可理解。但是从图 1 可以知道，耳朵并不是对所有频率都同样敏感，同样，也不是所有频率的噪声都能造成同样的干扰。因此，在电话学里，噪声是由这样一种装置来测量的，这种装置对于高低频的敏感度低于对听懂语言为最重要的频率的敏感度。这种敏感度见图 5。图的横座标是频率，用周

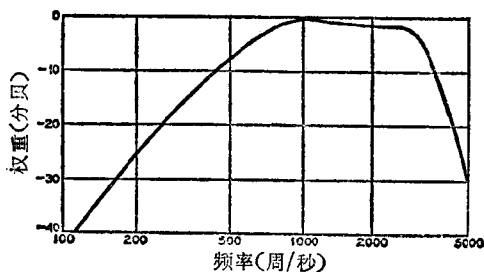


图 5

数表示。纵座标是权重因数，用分贝表示。从图上可以看出，300周的噪声权重因数大约是 -20 分贝。这就是说，用一套噪声测量装置测量噪声时，300 周噪声的功率只是1000周噪声的功率的百分之一。

噪声要相当大，大到叫人厌烦的程度，才会降低语言的清晰度或可懂度。因此，可接受的噪声水平一般是根据对人的烦扰程度来规定。图6的横座标是加于电话机的噪声功率，与建立图4时所用的电话机相同。在图6中，噪声功率用超过基准噪声的分贝数（dbnrc）来度量。这就是相对于单一频率 1000 周/秒的基准功率 10^{-12} 瓦的分贝值。

图6左边的曲线表示，对于一个有特定噪声的电话，有百分之几的用户认为它一点不吵，效果极好。向右相邻的一条曲线表示，对一个有特定噪声的电话，有百分之几的用户认为它好或较好，如此等等。也就是说，如果加于一个电话的噪声超过基准噪声的分贝数是24，那么，80%的用户将认为它极好，并且几乎所有的用户将认为它是好的。

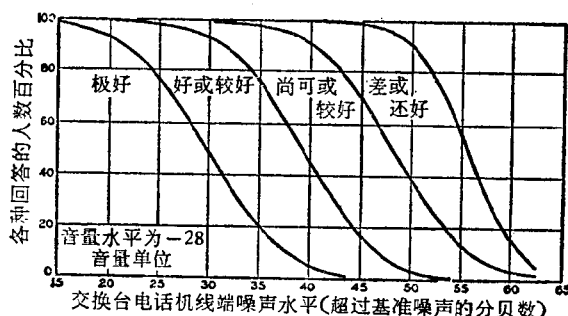


图 6

设计通信系统的人必须处理信号功率对噪声功率的比例的问题。图4告诉我们，音量水平为 -28 音量单位（这在电

话中是最常用的)是最满意的。在说话的过程中,功率迅速起伏。 -28 音量单位的水平相当于用超过基准噪声 61 分贝说话过程中的平均功率。因此,如果噪声超过基准噪声是 24 分贝的话,那么,信号平均功率就比相当的权重噪声(见图5)大 37 分贝左右。

我们还远没有掌握设计一套完善的通信系统所需要的关于语言和讲话者方面的知识。通信系统是容易发生过载的。假设我们将一个正弦信号作为输入加于一个放大器或一系列放大器,并测量输出。当我们增大输入功率时,开头输出功率与输入功率成直线关系增大。如果把输出功率对输入功率作图,在功率较小的区域我们将得到一条直线。但是,当我们进一步增大输入功率时,输出功率的增大就缓慢起来,这时放大器就变成非线性的了。对放大器来说,这就叫做过载。当信号大到使放大器过载超过一定程度,输出的声音信号就发生失真。如果我们经过放大器传送一个声音信号,发生这种情况就很不妙。但是,事情还可以变得比这更坏呢。

在大多数发送系统中,都用一个放大器来放大很多个声音信号。在多路通话中,频率分隔是靠一个叫做调制器的装置把声音信号频率移位。多路通信系统以 $64000-68000$ 周、 $68000-72000$ 周、 $72000-76000$ 周等,传送许多个 200 到 3200 周频率的声音信号。在这种系统里,过载和非线性失真就会引起各路之间的干扰。各路之间的频率会发生转移。

由此可见,必须避免过载。要想避免过载,我们不但要知道说话的人的信号平均功率,而且要知道同时说话的许多人的峰值功率,还要知道同时说话的有多少人。当然,对于这些问题不可能有精确的答案,但是,我们可以用统计方法给出相当满意的答案。

一个多路通信系统，并不是所有的通道同时都在使用的。而且，多路系统的各路只能向一个方向传话，因此，一个长途电话用两个通道讲话，来去各占一个通道。因此，当一个用户只听不说的时候，其中就有一个通道没有利用。总起来说，即使在这种系统最繁忙的时候，任何一瞬间正在通话的通道也只不过占四分之一左右。

不同的说话人，说话的功率是不同的，某个时候可能碰到一批全是大嗓门的人。我们要估计到这种情况，要允许每个说话的人用足够大的功率。但是，在一个人说话的过程中，他的说话功率也还在不断变化，说s的声音就弱，说o的声音就强。一个人在说话过程中，峰值功率比平均功率大得多。可见，如果我们考虑许多人同时说话的情况，就可以想象到，一些人低声细语，而另一些人音调高亢。表示这种效果的数据是相当复杂的，但图7的曲线大体上可以作为代表。图上的 r 是峰值功率与平均功率之比，以分贝表示，横座标是

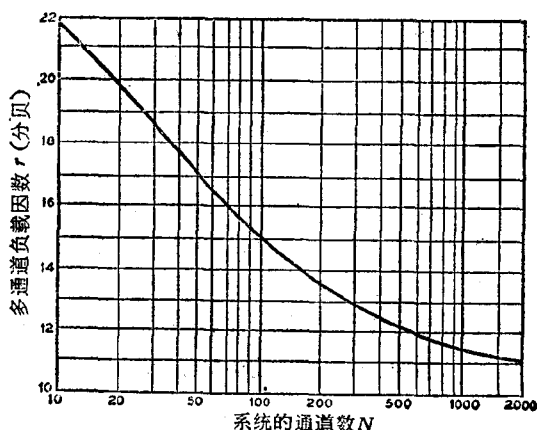


图 7