

电子与波

无线电电子学基础 第一分册

〔美〕J.R. 皮尔斯 著



科学出版社

电 子 与 波

无线电电子学基础 第一分册

〔美〕 J. R. 皮尔斯 著

柯 红 玉 译

科 学 出 版 社

内 容 简 介

本书是作者所著《无线电电子学基础》一书的第一分册，也是全书的入门部分。书中前半用通俗的语言讲述电子学中经常要碰到的一些基本物理概念，如牛顿运动定律、电磁场、波、麦克斯韦方程等；后半部分讨论一些主要的电子器件、信号和真空管放大器。

本书可供广大中等文化水平的读者参阅。

John R. Pierce

ELECTRONS AND WAVES

Doubleday & Company, 1964

电 子 与 波

无线电电子学基础 第一分册

〔美〕J. R. 皮尔斯 著

柯 红 玉 译

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

北京新华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1974年10月第 一 版 开本：787×1092 1/32

1974年10月第一次印刷 印张：5 3/8

印数：0001—57,450 字数：121,000

统一书号：15031·89

本社书号：415·15-7

定价：0.44 元

译者前言

电子技术是现代技术中，应用非常广泛、发展非常迅速的一个部门。但是，它的基本理论，大部分仍然是建立在经典力学和经典电磁理论的基础上的。本书结合现代电子技术的历史发展，不用复杂的数学推导，比较通俗地阐述了经典物理的一些基本定律和一些典型电子器件的工作原理，这不但对从事电子技术的人是一本有参考价值的中级通俗读物，而且对正在学习物理学的人，也是一本有助于了解物理概念及其广泛应用的辅助读物。

牛顿运动定律和麦克斯韦电磁方程都是在长期的、广泛的生产斗争和科学实验的实践基础上总结出来的。但是在进行理论概括时，理性认识的这一飞跃，不可避免地要运用一些科学的抽象。本书第六章专讲麦克斯韦方程，其中有一些比较抽象的理论推导，是全书中比较难读的一章，但也是重要的一章，希望读者能耐心地读完。第一次读不懂时，也可以坚持读下去，读完全书后再回过头来重读一些没有看懂的部分，或者找其他讲相同内容的书刊对照着读。

第六章用了少数微分和线积分的概念，第八章用了一点傅里叶级数、傅里叶积分和傅里叶变换的概念。这些概念的数学推导比较复杂，但在本书中，它们的物理意义是容易理解的。读者可以不去管它的数学内容，而着重去理解它们的物理意义。

本书作者 J. R. 皮尔斯长期从事通信理论，电子光学，

行波管和卫星通信等方面的研究工作。本书是他 1956 年出版的《电子、波和信息》一书的修订本。作者 1964 年修改原书时，扩充了许多新的内容，写成《电子与波》，《量子电子学》和《波与信息》等三分册。本书是第一分册。

中译本删节了原书中一些与科学内容无关的议论并在某些地方作了简单的注解，供读者参考。限于我们的水平，错误之处在所难免，希望读者批评指正。

译 者

1973 年 12 月

目 录

译者前言	(i)
第一章 绪论	(1)
科学的普及 (1) 本书的范围 (3) 代数表示法的 复习 (6) 数与数之间的关系 (9)	
第二章 运动定律	(15)
以溜冰为例来说明运动定律 (17) 矢量 (19) 牛顿 的万有引力定律 (24) 牛顿运动定律的应用 (30) 动 量和角动量 (31) 能量守恒定律 (34)	
第三章 电场和电子	(38)
引力场 (38) 电场 (42) 二极管中的电流 (44) 电子枪 (47) 电子束的偏转 (50) 静电场和导体 (53)	
第四章 磁场和电子	(56)
磁场的作用力 (57) 回旋加速器 (59) 电子束的聚 焦 (61) 电透镜 (62) 磁透镜 (65) 电子显微镜 (67)	
第五章 波	(70)
关于波的性状的一些原理 (71) 波的线性 (76) 波 的聚焦和聚焦的限度 (81) 望远镜和显微镜 (86) 微波的传输 (87) 反射和驻波 (90) 囚铜波	

(93)	波的概念 (95)	
第六章	麦克斯韦方程	(97)
电通量和磁通量 (99)	通量和位移电流 (101)	电子回旋加速器 (104)
平面电磁波 (105)	电流所产生的辐射 (109)	偏振波 (112)
高斯定理 (114)	介电常数 ϵ 和磁导率 μ (118)	
第七章	几种常用的电磁器件	(120)
天线 (120)	谐振器的用途 (123)	电容器和电感器 (127)
变压器及其用途 (130)		
第八章	信号	(133)
傅里叶级数 (133)	调幅信号和调频信号 (135)	频移 (138)
超外差式接收机 (140)	带宽和脉冲长度 (143)	
第九章	真空管放大器	(146)
放大器的用途 (147)	真空管的重要性 (147)	三极管是怎样进行工作的? (149)
五极管 (152)	速调管和谐振放大器 (155)	速调管放大器的优点 (157)
行波管 (158)	行波管的用途 (161)	对今后探索方向 and 发展的展望 (163)
附 录		(164)

第一章 绪 论

科 学 的 普 及

从前当我去纽约时，路上总要经过许多工厂，其中有的是抽水机制造厂，有的是电气用具制造厂，有的则是计算机制造厂，还有许多别的工厂。每当我看到这些工厂的时候，我就会因自己的知识贫乏而感到自卑。经过了七年的大学和研究生的学习，并在一个实验室工作了二十八年以后，我才懂得了电子学这一领域里的某一局部的一些东西。但是，即使对于我所在的这家公司中所做的大部分其他工作来说，我所知道的也只不过是片面、很不深入的一点点。至于在这家公司以外所进行的各种工作，我所知道的就更是有限了。

科学技术的门类极其繁多，任何一个科学家只能掌握整个科学技术的很小一个部分。既然如此，要想了解这样复杂的科学技术，岂不是就没有希望了吗？我认为，答案应当是否定的。

在过去，需要人们去掌握的技术并不是很多的，过去的技术只不过是纯经验的工艺。在我看来，现代技术的一个突出的特点则是：技巧和经验的方法正在迅速被科学所代替或被作出科学的解释。工科的课程正在不断从烦琐的技巧和狭窄的专门知识中解放出来，以便为更多的物理学和数学，为更多、更广泛的基础知识让路。从今天学校里毕业出来的工程师们，他们在学校里所受到的教育比我在二十八年前在学校里所受到的教育要好得多。他们所受的教育比我们所受的

要扎实，他们学了更多基本的有广泛应用价值的东西，而他们却花较少的时间去学习特殊的规则与冗长乏味的工艺。在今天单靠手册来搞工程设计是不够的，手册往往在它刚被人们熟悉的时候就已经过时了。一个工程师必须理解他的工艺，并且经常想到如何跟上他的工艺的发展。

很长一个时期中，我的专长是研究真空管，特别是微波真空管。我虽然有专门的知识，但是单凭这些是不够的。我发现，在我研究老真空管中的新问题和新的真空管时，我经常不得不考虑其他学科和技术分支中有关的类似问题。

当我研究行波放大器中的电磁波时，我能容易地进行工作，并且能够追索电磁波通过雷达波导而到达天线，从天线进入空间，或者进而达到通信卫星，然后再从那里返回来的行踪。了解了这些波，我就能了解空气中的声波，海洋中的水波，以及光波。我能了解生物学家通过显微镜所能看到的物体可以小到什么程度，也能了解天文学家能够希望在火星上看到多么小的东西。通过对电子在真空管中的运动的了解，我也能了解行星在它们轨道中的运动以及卫星通过太空的路径。

我们的科学和技术的任何部分，已不能再是一个闭关自守的孤岛。实际上，它们的内容是互相交叉的，数学的方法与物理学的概念是广泛地结合在一起的。很好地了解了科学或技术中的一个局部，就能了解它们整体的某些东西。

这样，尽管我对过去乘车经过的那些工厂总的规模感到惊奇，但是我知道，只要去询问与这些工厂有关的事情，那我就会发现其中有一些事情是我熟悉的。人们谈到的那些细节我可能不熟悉，但是他们所说的东西，我在一定程度上是能够了解和领会的。

上面所说的这种情况，使我愿意在这本小册子中，把我在这一具体工作领域中所接触到的某些东西告诉我的同行。我相信，对于那些从事通信工作和从事电子学工作的工程师来说，虽然他们所研究的问题和我所研究的问题多少有些不同，但是我在这本小册子里所谈的东西，他们是清楚的，并且是感兴趣的。除此以外，我相信我也能让那些和我的专业相距很远的科学技术人员懂得我讲的问题。但是我能不能使那些没有科学技术方面工作过的人，也能明白我所讲的东西呢？我能不能把科学技术领域中，特别是我这个具体工作领域中据我看来是很重要的东西传播给他们呢？

我想这是可能的，但是要做到这一点，就必须象人们经常所说的，“要讲得非常简明”。照我看来，技术人员大概不会嫌弃这种简单明了，但是我感到有一些人却不是这样。有几次，我曾经煞费苦心地对某一个不熟悉科学的人说明一个重要的论点，结果虽然很成功，但是却使我感到在我的成功当中，却包含有几分失败，因为他最后虽然明白了我所讲的道理，但是他在明白以后所得出的反应却是：“哦！原来这样简单。”言外之意无非是说，我说的东西既然是能够了解的，那它就不会是很重要或者很深奥的。这种态度完全漠视了这样一个事实：许多有声望的人几世纪来不能了解的正是如此简单的事物。

本书的范围

在这本小册子里，我打算从电子学这个术语的非常广泛的意义上谈电子学。虽然本书将把真空管中的电子作为它的重点，但是并不是单单只谈电子学中这一个很狭窄的方面。更具体一点来说，在这本书里所谈的是从无线电的角

度，从电视的角度，从洲际通信以及从雷达定位和雷达导航的角度来谈电子学。本书的目的不是向读者介绍电子装置（或电子系统）的大小、成本、复杂性及其奇异之处，而是向读者介绍这些电子装置是如何进行工作的。但是要想了解这一点，我们必须知道许多事情。

从基本上讲，电子学是以人们对物理世界的深刻认识为基础而建立起来的，正是由于有了这种认识，才使人们能够在一定程度上对电子进行控制，也就是说，电子学是建立在物理学的基础上的。因此，本书的读者将会在本书中发现许多物理学上的东西。这些物理学的东西许多是老的，但是因为它是我们的新技术的一个部分，所以我们要讲它。读者们将会发现，牛顿(Newton)的运动定律可以用牛顿自己解决过的那些问题来加以说明，但是，这些定律同样也可以用来解释最新发明的某些真空管。读者们将会最新的电子装置中看到法拉第(Faraday)的力线的应用。谈到波的概念时，我们不得不回溯到惠更斯(Huygens)，但是，读者们也将发现，关于波的概念是了解微波天线的基础。至于这种微波的传播机制要用麦克斯韦(Maxwell)方程来解释，而麦克斯韦方程则是上一世纪的东西。至于晶体三极管、脉泽与激光器等一类电子器件的作用，则只能用量子力学来解释。为了了解直线加速器的功能，就必须要有相对论的某些知识。由此可见，在电子器件中，物理学的老的和新的知识常常是交织在一起的。

广义地说，电子学中所包括的不仅仅只是一些器件，一些装置，也不仅仅是物理学。它包括用一些器件和装置去组成完成一定目的的系统。要想在一本书中说明电子学所能做到的全部事情是不可能的，这要牵涉到各种各样复杂的电子

计算机和控制装置，以及许多类别的通信系统。我之所以选用对长途通信和雷达有重要意义的装置来说明电子学的应用，是因为它们同我的专业最为密切，不过，在合适的地方我也举出如象电子显微镜这样的例子。

在我们知道了电子学的一个部分，以及浏览它的某些侧面以后，我们能期望学到多少一般科学技术知识呢？可以肯定，我们将不会得到生物学或化学的直接知识。我们也不能直接学到原子物理学。在我们描述电子装置这个奇妙的世界时，也没有把空气动力学、热机、火箭等都包括进去。

但是，我认为读者从这本小册子中所得到的，将不仅只是理解到科学技术的这一领域中的某些东西。我想读者可以从这本书中知道以下几点：（1）科学所要解决的到底是哪些问题；（2）在这类问题中，科学能够弄清哪些事情；（3）如何能够把这类知识组织起来并用来解决世界上的某些问题。我希望读者能学到一些观察事物的方法，学会保持这样一种见解，这就是认识到，清楚地了解最细小的最特殊的问题，要比包罗万象地、生动地讲述一些不清楚的东西强得多。只有以这样一种认识，这样一种见解去对待科学技术其他部分的问题，读者才能了解到这本书里没有谈到的那些科学技术的意义。

在没有转入下面的章节以前，在这里再提几点特殊的忠告看来还是必要的。我想其他科学领域的专家，在阅读这本书的任何一章时都不会遇到什么困难。但是在本书的读者当中，也许会有这样一种人，他们很少接触到科学——或者因为他从未学过更多的数学和科学，或者因为他不喜欢他所学过的这些科学常识而在很久以前就把它们忘记了。对于这样的读者，我也想尽量使他们易于理解。主要是为了这样的读

者，我才在前面几章中列进了一些其他方面的专家可以不必再读的材料。

这些材料无疑是基本的，是量子论和相对论之前的物理学，这里包括牛顿运动定律、电场与磁场、波等等。但是在麦克斯韦方程的那一章，也许甚至再前面一点，我希望其他专业范围的专家也会找到一些对于他们来说是新的材料。这样的读者应当自己去判断，哪些他应该去读，哪些他可以跳过去。

然而，没有基本科学知识的人，首先要尽一切努力读懂头几章。游泳的不愉快的时刻是刚刚跳入冷水的片刻，滑雪的不愉快的时刻是最初几次摔倒。我怕紧接着这一章的那几章，有些人会觉得它们是本书中最没有意思的章节。但是，我们必须熟悉它们的内容。一个人如果不懂得一些专门术语，不了解一些必要的概念，就简直无法谈论电子学。要弄懂这些东西可能是很伤脑筋的，但这是必要的。我希望开头的困难将不会太大。

对外行读者还有另一个障碍。对于科学来说，数学在某种程度上是基本的。在这本书中，我主要用图解和文字来解释事物，可是我也以数学方程的形式写出某些东西。虽然这些方程能使任何放心不下的人自己去算例题，但在多数情况下，即使跳过去不看它们，也不致遭受太大的损失。但在有些情况下，例如在麦克斯韦方程的场合下，方程是问题的中心，它就不能略去不读了。

代 数 表 示 法 的 复 习

每当用到数学时，我总是力求用最普通的语言来说明它的意义。虽然如此，对于那些由于多年不用而已经把简单的

代数忘掉了的人，谈谈这方面的问题看来还是必要的。

我们常常用不同的字母来代表各种不同的量。下面我以
一个高为 h ，宽为 W 的矩形的面积 A 这个简单例子来说明这
一点。

我们可以说矩形的面积 A 是它的高 h 与宽 W 的积。同样可
以说 A 等于 h 乘 W ，写成等式就是

$$A = hW,$$

或者

$$A = W h.$$

在这里我们没有用乘号。两个字母连写在一起，就表示这两
个量相乘。

假设矩形是 2 呎宽，4 呎高，那么就可写作

$$A = (2)(4) = 8 \text{ 平方呎}.$$

我们以括弧作为一种符号；不能把 2 乘 4 写成 2 4 —— 这样
写就变成二十四了。

有时我们说某一个量（例如 A ）与另一个量（例如 h ）
成正比。这意思就是说， A 等于某个量乘以 h 。当 h 增大或
减小时， A 也按比例增大或减小。这样，假如 h 增大一倍， A
也就增大一倍。在我们上面讨论的例子中， A 等于 W 乘 h ，这
样。 A 与 h 成正比，同样， A 也与 W 成正比。

除法总是写成一个分式， h 等于 A 除以 W ，就写成

$$h = \frac{A}{W}.$$

我们把它读成“ h 等于 W 分之 A ”。在这样的一个关系式中，
我们说 h 与 W 成反比，意思就是： h 等于某个量除以 W 。当
 W 增大时， h 就减小，而当 W 减小时， h 就增大；假设 W 增
大一倍， h 就减小一半。

假设我们说的矩形是一个正方形，每个边长均为 l ，则

$$A = (l)(l) = l^2。$$

符号 l^2 (l 的平方) 是 l 乘 l 。

有时我们说一个量与另一个量的平方成反比。在等式

$$F = -\frac{g}{r^2}$$

中, F 与 r 的平方成反比。如果式中的 r 增大一倍, F 则成为原来的 $1/4$ 。

一个正方形, 如果它每边长是 l , 面积是 A , 就可写成

$$l = \sqrt{A},$$

这就是说, l 是 A 的平方根。 $\sqrt{A}$ 乘以 $\sqrt{A}$ —— 也就是 A 的平方根 (或称为根号 A) 的平方 —— 等于 A :

$$(\sqrt{A})(\sqrt{A}) = (\sqrt{A})^2 = A。$$

以数字为例:

$$(\sqrt{2})(\sqrt{2}) = (\sqrt{2})^2 = 2。$$

2 的平方根的近似值是 1.414。

用字母来表示物理量时, 有时我们在同一字母的右下角注以不同的数字 (也称足码或下标) 来表示同一种类的不同的量。这样, 假如我们有三个不同半径的圆, 我们就可以用

$$r_1, r_2, r_3$$

来表示不同的半径。 r_1 可以是三个圆中第一个圆的半径, r_2 是第二个圆的半径, r_3 是第三个圆的半径。有时下标用字母表示, 例如,

$$f_n, f_p,$$

在这里 f_n 表示力 f 垂直于某方向的分量, 而 f_p 就表示力 f 平行于该方向的分量。这些特殊术语的含义将在第二章中更详

细地叙述。

数 与 数 之 间 的 关 系

在数学与物理学的方程中，某些数经常反复出现。其中最普通而历史最久的就是用希腊字母 π 表示的那个数，它是一个圆的周长对这个圆的直径的比值。下面我们将经常谈到圆或球体的半径，我们管它叫 r 。

假如 r 是一个圆的半径，那么，这个圆的周长 S 就是

$$S = 2 \pi r。$$

假如 r 是一个圆的半径，那么，这个圆的面积 A 就是

$$A = \pi r^2。$$

假如 r 是一个球体的半径，那么，这个球体表面的面积 A 就是

$$A = 4 \pi r^2。$$

π 这个数之所以用一个字母作记号来表示，是因为不管我们用几位数字，都不能完全准确地表示它。在计算时，我们用一个接近正确的近似值，如果是三位有效数字，那么 π 可用 3.14 或 $22/7$ 来表示。

工程师和物理学工作者同数学工作者一样，也使用负数如 -2 （负 2）和正数如 $+2$ （正 2）； $+2$ 也可以简单写作 2。使用负数是因为负数在描述一些物理量时较为方便。例如表示高度时，我们不必说“在……之上 2 呎”或“在……之下 2 呎”，而只需要用一个“高”字就可以了。我们可以用 $+2$ 呎高来说明“在……之上，2 呎”，而用 -2 呎高来说明“在……之下 2 呎”。

例如，我们要计算离海平面的高度。假设我们把一件物体先提到 a 呎，然后再提高 b 呎，这样，提高的高度 h 是

$a + b$ 呎，可写作

$$h = a + b。$$

现在举一个例子：我们将一个物体升高10呎，又降低5呎。如果用下列方式表示升高和降低的程度，那么，我们就能用这一公式来求出它最终的高度：

$$a = 10,$$

$$b = -5,$$

$$h = 10 + (-5) = 5。$$

当一个正数加一个负数时，答数等于它们的差，并用绝对值大的数的符号作为它的符号。

假如我们把一件物体升高5呎，又降低10呎，结果怎样呢？我们可写出

$$a = 5,$$

$$b = -10,$$

$$h = 5 - 10 = -5。$$

这表示物体最终落在起点以下5呎。

读者应记住这一点：为了在使用负数计算时能得到一致的结果，我们必须说，两个负数相乘，其乘积是正数，而一个负数乘以一个正数，其乘积是负数。

使用负数是很方便的：使用负数就可以不必用几个术语（例如用高度和深度）来表示，也不用去写几种情况下的几个式子。

我们已经看到过数与数之间的关系是如何用公式来表示的，如

$$A = hW。$$

数与数之间的关系，也能以坐标图来表示，一条特定的曲线