



第**2**弹

四色全彩



上天入地显神通：

# 探秘 电波

〔日〕井上伸雄/著  
乌日娜/译

从原理入手，  
认识电波、  
利用电波



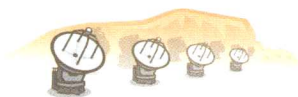
光等电磁波的传播原理

电波的特性以及不同频带的使用差异

关于电波的疑惑，统统消灭！



科学出版社



上天入地显神通：

# 探秘 电波

〔日〕井上伸雄/著

乌日娜/译



科学出版社

北京

## 内 容 简 介

在我们生活的世界中，各种各样形形色色的事物和现象，其中都必定包含着科学的成分。在这些成分中，有些是你所熟知的，有些是你未知的，有些是你还一知半解的。面对未知的世界，好奇的你是不是有很多疑惑、不解和期待呢？！“形形色色的科学”趣味科普丛书，把我们身边方方面面的科学知识活灵活现、生动有趣地展示给你，让你在畅快阅读中收获这些鲜活的科学知识！

从电视机到收音机、手机、微波炉等，现代人在生活中享受着电波带来的种种便捷。本书以图解的形式讲解了电波的入门基础知识，对于想了解电波知识的初学者来说，是一本形式新颖、易读易记的读物。从产生原理到使用方法，就让这本书逐一解开你心中对电波的困惑和疑问吧！

本书适合青少年读者、科学爱好者以及大众读者阅读

### 图书在版编目(CIP)数据

上天入地显神通：探秘电波/(日)井上伸雄著；乌日娜译。

—北京：科学出版社，2012

(“形形色色的科学”趣味科普丛书)

ISBN 978-7-03-034574-5

I. 上… II. ①井… ②乌… III. 电波传播-普及读物

IV. TN011-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第114046号

责任编辑：唐璐 赵丽艳 / 责任制作：董立颖 魏谨

责任印制：赵德静 / 封面制作：泊远

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

**科学出版社** 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

北京美通印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2012年7月第 一 版 开本：A5(890×1240)

2012年7月第一次印刷 印张：6 1/8

印数：1—5 000

字数：191 000

定价：32.00元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

“Denpa”no Kihon

Copyright © 2011 by Nobuo Inoue

Chinese translation rights in simplified characters arranged with

SOFTBANK Creative Corp., Tokyo

through Japan UNI Agency, Inc., Tokyo

## 「電波」のキホン

井上伸雄 ソフトバンククリエイティブ株式会社 2011

### 著者简介

井上伸雄

1936年出生，1959年毕业于名古屋大学工学部电气工程系。毕业后进入日本电报电话公司（现在的NTT公司）研究所，开始从事数字网络的研究开发，现任多摩大学客座教授。著作有《通信基础》（SOFTBANK Creative）、《通信技术》、《IP网络的体系结构》、《通信&网络简明辞典》、《最新通信常识》、《信息通信快速入门系列丛书》（合著，日经BP出版社）、《基础通信网络》（光电子公司）等。

坂本纪子（Design Studio Palette）

美术指导。

野边Hayato

封面绘图。

保田大介、红谷桃衣、高山真季子（株式会社JOLLS）

内文插图。



## 拥抱科学，拥抱梦想！

伴随着20世纪广域网和计算机科学的诞生和普及，科学技术正在飞速发展，一个高度信息化的社会已经到来。科学技术以极强的渗透力和影响力融入我们日常生活中的每一个角落。

“形形色色的科学”趣味科普丛书力图以最形象生动的形式为大家展示和讲解科学技术领域的发明发现、最新技术和基本原理。该系列图书色彩丰富、轻松有趣，包括理科知识和工科知识两个方面的内容。理科方面包括数学、理工科基础知识、物理力学、物理波动学、相对论等内容，本着“让读者更快更好地掌握科学基础知识”的原则，每本书将科学领域中的基本原理和基本理论以图解的生动形式展示出来，增加了阅读的亲切感和学习的趣味性；工科方面包括电子电路、半导体、太阳能电池、无线电、薄膜、金属等方面的内容，从基本原理、组成结构到产品应用，大量照片和彩色插图详细生动地描述了各工科领域的轮廓和特征。“形形色色的科学”趣味科普丛书把我们生活中和身边方方面面的科学知识，活灵活现、生动有趣地展示给你，让你在畅快阅读中收获这些鲜活的科学知识！

愉快轻松的阅读、让你拿起放不下的有趣科学知识，尽在“形形色色的科学”趣味科普丛书！

## 出场人物介绍

### ★ 青蛙：跳跳



本书的主角，擅长制作各种小玩意，对任何事物都抱有浓厚的兴趣，渴望制造出具有划时代意义的产品。

### ★ 向导



#### 抛物面天线君

抛物面天线君非常喜欢唱歌跳舞。超有拉美范儿的他戴上阔边帽，披上南美披风，手中的一对儿响葫芦发出动人的节奏，让人印象深刻。在收音机的世界里，音乐是必不可少的。



#### 棒状天线君

出生于英国的棒状天线君，很适合大衣搭配雨伞的装束。头上冒出的两个棒状天线足以证明天线君绝非寻常之辈。按照电表分毫无差地生活，只是一个理想罢了。

## 前言

电波被应用于各种领域，是我们日常生活中不可或缺的一部分。目前，电波主要用于手机、电视广播、IC卡（如Suica和PASMO）、汽车导航和微波炉等领域。但电波不为人眼所见，从而使其成为一门非常深奥的学问。

本书未引用晦涩难懂的数学公式，而是尽量采用简洁明了的图表对电波的原理进行解释，因此这是一本适合初学者的入门书籍。为了更生动地说明不为人眼所见的电波，本书尽量举一些我们身边的例子，用通俗易懂的方式阐述了从电波产生的原理到利用方法等各方面内容。

目前，我们使用的电波几乎都是人工电波，然而自然界中也存在电波。自然界中的电波大部分都是电磁波，实际上电磁波也属于电波的一种，电波与电磁波具有相同的性质。本书重点介绍电波的相关知识（包含电磁波）。

各种电波的区别在于其频率的不同。可以说，电波频率是一种非常宝贵的资源，因此我们不能将其白白浪费，而是应当尽量有效地进行利用。随着社会的发展，电波的用途越来越广泛，因此深入了解电波的相关知识，并有效利用电波是一件非常重要且很有意义的事情。

本书虽是一本电波知识的入门书籍，但笔者认为，读过本书之后，再进一步阅读专业的电波书籍，也能较容易理解。

井上伸雄



# 探秘电波

## 目 录

### 第 1 章

### 电波是什么

001

- 001 我们身边的电波 ..... 002
- 002 看不见摸不着的电波是由正弦波组成的 ..... 004
- 003 电波由振幅、频率和相位三个参数决定 ..... 006
- 004 所有的波都是由各种不同频率的波复合而成 ..... 008
- 005 电磁波把电和磁联系在一起① 有电流就能产生磁场 ..... 010
- 006 电磁波把电和磁联系在一起②  
有变化的磁场就能产生电流 ..... 012
- 007 根据电场的方向可将电波分为水平偏振波、垂直偏振波和  
圆偏振波 ..... 014
- 008 电波在真空中也能传播的秘密 ..... 016
- 009 电波的传播速度与光速相同 30万km/s ..... 018
- 010 电波在传播过程中逐渐减弱 ..... 020
- 011 电波能够穿透哪些物质? 电波无法穿透哪些物质? ..... 022
- 012 电场强度用于表示电波强弱程度 ..... 024
- 013 电波的性质由其频率决定 ..... 026
- 014 电波与电磁波的区别 光也是一种电磁波 ..... 028
- 015 没有干扰的情况下, 电波在空间以直线传播 ..... 030
- 016 电波的重要性质① 电波的反射与散射 ..... 032
- 017 电波的重要性质② 电波的折射、衍射和干涉 ..... 034
- 018 根据传播方式可分为地波、对流层电波与电离层电波 ..... 036
- 019 能够反射电波的地球电离层 ..... 038
- 020 在电离层发生的各种异常现象 德林格尔现象与磁暴 ..... 040
- 021 超视距传播的超视距通信 ..... 042

|     |                                                  |     |
|-----|--------------------------------------------------|-----|
| 022 | 电波的衰落现象(电波的强度发生变化)·····                          | 044 |
| 023 | 手机电波的多途径传播现象·····                                | 046 |
| 024 | 防止电波的多径衰落现象,可使用分集式<br>天线(diversity antenna)····· | 048 |

|        |     |     |
|--------|-----|-----|
| COLUMN | 分 页 | 050 |
|--------|-----|-----|

## 第 2 章 电波的种类与利用 051

|     |                                             |     |
|-----|---------------------------------------------|-----|
| 025 | 在日本,发射电波必须获得无线电台的授权许可证·····                 | 052 |
| 026 | 电波的频率及其用途<br>根据电波的使用目的决定其用途·····            | 054 |
| 027 | 甚长波与长波以地波的形式向远处传播·····                      | 056 |
| 028 | 中波以地波和电离层波的形式传播到远方·····                     | 058 |
| 029 | 短波被电离层反射到达地球的背面·····                        | 060 |
| 030 | 甚高频波以直达波、反射波和衍射波的形式传播·····                  | 062 |
| 031 | 特高频波主要用于电视广播和移动通信领域·····                    | 064 |
| 032 | 超高频波进行视距传播时可传送大量信息·····                     | 066 |
| 033 | 毫米波主要用于极短距离通信和雷达技术·····                     | 068 |
| 034 | 亚毫米波(太赫兹波)在无线电天文学和安全检查<br>领域的应用得到了进展·····   | 070 |
| 035 | 向通信和传播以外的领域开放的ISM频段·····                    | 072 |
| 036 | 适用于手机的电波频率<br>手机可使用的电波频率为700MHz ~ 4GHz····· | 074 |
| 037 | 分配给移动通信的电波频率·····                           | 076 |
| 038 | 用于电视广播的电波频率<br>无线电广播用中波和短波,电视广播用UHF·····    | 078 |

|     |                |     |
|-----|----------------|-----|
| 039 | 用于业余无线电的电波频率   |     |
|     | 短波的使用最早始于业余无线电 | 080 |

|        |        |     |
|--------|--------|-----|
| COLUMN | 马可尼的实验 | 082 |
|--------|--------|-----|

|     |       |     |
|-----|-------|-----|
| 第3章 | 电波的用途 | 083 |
|-----|-------|-----|

|     |                            |     |
|-----|----------------------------|-----|
| 040 | 电波在手机中的应用方式①               |     |
|     | 以蜂窝通信的方式高效利用电波频率           | 084 |
| 041 | 电波在手机中的应用方式② 蜂窝有多种尺寸       | 086 |
| 042 | 电波在电视广播中的应用方式①             |     |
|     | 数字电视广播可使用所有的频道             | 088 |
| 043 | 电波在电视广播中的应用方式②             |     |
|     | 在相邻的区域也能使用频率相同的电波          | 090 |
| 044 | 电波在卫星广播中的应用方式              |     |
|     | 区别使用右旋圆偏振波和左旋圆偏振波          | 092 |
| 045 | 用电波连接10m以内的超短距离 蓝牙与UWB     | 094 |
| 046 | 电波在电子标签与数据传输中的应用           | 096 |
| 047 | 利用电波提供电功率 非接触型IC卡的构造       | 098 |
| 048 | 如何产生频率精确的电波 原子振动产生频率精确的电波  | 100 |
| 049 | 电波钟通过接收标准电波信号进行高精度计时       | 102 |
| 050 | 船舶救援信号 从SOS到GMDSS          | 104 |
| 051 | 利用电波测定船舶和飞机的位置             | 106 |
| 052 | 船舶无线电领航法 利用双曲线测定位置的罗兰C导航系统 | 108 |
| 053 | 为飞机的安全航行服务的电波 VOR、DME、ILS等 | 110 |
| 054 | GPS利用卫星发射的电波测定位置           |     |
|     | GPS用于汽车导航系统和手机导航           | 112 |

|     |                                |     |
|-----|--------------------------------|-----|
| 055 | 利用电波测定物体的方位与距离 雷达的原理 .....     | 114 |
| 056 | 活跃在天气预报领域的气象雷达 用电波预测天气活动 ..... | 116 |
| 057 | 电波的多普勒效应 从频率的变化测定物体的移动速度 ..... | 118 |
| 058 | 利用电波测定物体的速度 测速器的原理 .....       | 120 |
| 059 | 利用电磁感应对金属进行加热 高频感应加热的原理 .....  | 122 |
| 060 | 利用电波加热木材和塑料等物体 .....           | 124 |
| 061 | 厨房中的电波① 微波炉的原理 .....           | 126 |
| 062 | 厨房中的电波② 电磁炉的原理 .....           | 128 |

|        |                |     |
|--------|----------------|-----|
| COLUMN | 寄托于卫星通信的科幻作家之梦 | 130 |
|--------|----------------|-----|

## 第 4 章 自然界中的电波 131

|     |                                               |     |
|-----|-----------------------------------------------|-----|
| 063 | 有温度就能产生电磁波 温度与频率的关系 .....                     | 132 |
| 064 | 还是可见光的能量大 太阳辐射的电磁波① .....                     | 134 |
| 065 | 由耀斑产生的太阳射电爆发 太阳辐射的电磁波② .....                  | 136 |
| 066 | 宇宙所发射的电波、红外线、光、紫外线、<br>X射线和 $\gamma$ 射线 ..... | 138 |
| 067 | 大气层会阻挡宇宙中的电磁波 射电窗口和光学窗口 .....                 | 140 |
| 068 | 无线电望远镜用于观测宇宙所发射的电波 .....                      | 142 |
| 069 | 利用天体发射的电波测量地球<br>观测地球表面板块的活动 .....            | 144 |
| 070 | 雷电放电产生低频电波 .....                              | 146 |
| 071 | 干扰通信和广播的杂音电波 .....                            | 148 |
| 072 | 电磁波对人体产生热作用和刺激作用 .....                        | 150 |
| 073 | 手机辐射电波对心脏起搏器产生干扰 .....                        | 152 |

|        |           |     |
|--------|-----------|-----|
| COLUMN | 无线电天文学的起源 | 154 |
|--------|-----------|-----|

- 074 天线的原理 发射和接收电波..... 156
- 075 最基本的半波长偶极子天线..... 158
- 076 单极子天线 垂直于地面的单极子天线..... 160
- 077 天线的指向性 向某个方向发射较强的电波..... 162
- 078 电视的接收天线 指向性强的八木·宇田天线..... 164
- 079 抛物面天线 其原理与反射望远镜相同..... 166
- 080 卫星广播的接收天线 偏置抛物面天线和平面型天线..... 168
- 081 手机基站的天线① 向扇形蜂窝小区发射电波..... 170
- 082 手机基站的天线② 手机基站使用多个半波长偶极子天线..... 172
- 083 手机天线 手机使用两根天线防止信号的衰落..... 174
- 084 iPhone 4的天线  
iPhone 4外壳的金属边框就是其天线..... 176

## COLUMN 八木·宇田天线

178

参考文献..... 179



第

1

章

# 电波是什么

我们生活的环境被看不见、摸不着但又无处不在的电波所围绕，

我们看不见电波，因此也无法意识到它的存在。

在日常生活中，我们利用电波才能使用手机、用微波加热食物和看电视。

那么，电波具有哪些优点？又具有哪些性质？又是如何进行传播的呢？

这些问题将是我们第1章重点介绍的内容。



日常生活中，我们利用**电波**才能用手机、用微波加热食物和看电视。1831年，英国科学家法拉第首次发现了电磁感应现象，人类发现电波的历史就起源于法拉第的这一重大发现。1854年，另一位英国科学家麦克斯韦建立了电磁波理论。1886年，德国著名物理学家赫兹发现电波，并用实验证实了电波的存在。大约十年之后的1895年，意大利人马可尼利用电波进行无线电通信试验，并获得了成功，从此开拓了无线电通信实用化的道路。一个多世纪之后的今天，电波已经成为我们日常生活中不可或缺的一部分。

提到电波，人们会立刻想到手机和电视广播等通信与广播领域的应用。实际上，电波在如下领域都得到了广泛应用，如图1所示。

- (1) 通信与广播领域：手机、电视广播和微波传输电路等。
- (2) 物体探测与定位领域：雷达、GPS等。
- (3) 电波能量：微波炉、电磁炊具等。

另外，电波（确切地说是**电磁波**）在学术领域也得到了非常广泛的应用。

以前，人类利用电波的目的是将信号传播到尽量远的地方。但现在人们能够利用电波在极短的距离内传播信号。以手机为代表的**移动通信**利用电波就能连接2~3km的距离。更有甚者，短短数米的距离也能利用无线电进行联系。

电波在多个领域得到了广泛的应用，并且其重要性日渐凸显。电波频率是一种宝贵且有限的资源，因此我们不能将其白白浪费，而是应当尽量有效地加以利用。



- 除通信广播领域之外，电波在物体探测与定位领域也得到了广泛的应用。
- 电波本身就是一种能量形式，可作为能源进行利用。

图1 电波树



## 名词解释

电磁感应 → 变化的磁场在空间激发电流的现象称为电磁感应现象。

## 看不见摸不着的电波是由正弦波组成的

顾名思义，电波是**与电有关**的一种波。由于电波不可见，为便于理解，我们可以看一下湖面的波纹。当我们向平静的湖面投一颗石子，石子落水瞬间，以石子落水点为中心，水面会泛起一层层的涟漪，波纹从中心向四面八方扩散，但不久就会消失。如果以一定的时间间隔在水面的同一点持续投石子，水面上的波纹就不会消失，而会以石子的落水点为中心向四面八方形成一圈圈圆形的波纹（图1）。

波剖面是垂直于波峰线或沿波向线垂直切割波浪的剖面，即图2a中沿波向线A-A'垂直于水面的截面，从波剖面上能够看到规则的波形，这种波形的曲线可用三角函数中的**正弦函数（ $\sin$ ）**或者**余弦函数（ $\cos$ ）**来表达，这种波形是最基本的波形，称为**正弦波**或者**余弦波**。**波长**是波剖面上两个波峰之间的距离。波长越长，两个波峰之间的距离就越长。

波浪涌来时，湖面会上下波动形成波纹。通过研究水面的高度随时间的变化，可得到如图2b所示的正弦波。图2a中的横轴表示从某点到石子落水点的距离，如果将横轴变成时间，也能得到与图2b相同的波形。实际上由于风等因素的存在，水面上不可能形成如此规则的波纹，但是图2所示的正弦波是**非常重要波的基本形**。

其实，声音也是波的一种（声波）。水面波是通过水面有规律地起伏传播，而声波传播时，空气的密度会随时间和空间发生变化。如果对空气密度随时间的变化作图，可得到与图2相同的波形（图3）。唯一的区别在于，图3中的波峰和波谷表示的不是水面高度，而是空气密度的最高值与最低值。图2和图3表示的都是正弦波，但实际上大部分声音波形都非常复杂。



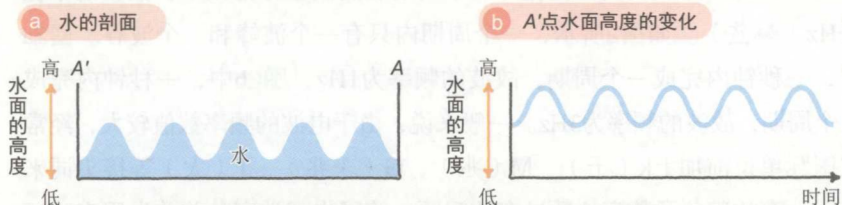
- 电波、水面波和声波都是由相同的波组成。
- 波的基本形可用正弦函数或者余弦函数表达式进行表达。

图1 湖面上形成的波纹



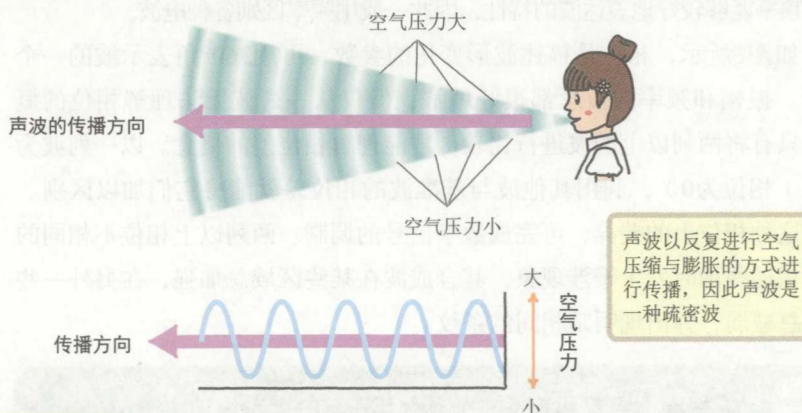
向湖面投石子儿时，水面上的波纹向四面八方扩散

图2 湖面上所形成的水面波的高度



这种波形可用 $y=\sin x$ 进行表达

图3 声波引起空气压力的变化



声波以反复进行空气压缩与膨胀的方式进行传播，因此声波是一种疏密波

#### 名词解释

正弦波 → 波形能用 $y=\sin x$ 表达的波。

声波 → 空气中质点的振动方向与声波的传播方向一致，故声波是一种纵波。