

# 序

当前，一个以电子科学、信息科学、材料科学、能源科学、海洋工程、生物工程、宇航工业等方面的重大技术突破为标志的新的技术革命正在世界兴起。电子科学技术，在诸多的尖端学科中，有着特殊的地位。千里眼与隐身术，则是电子科学技术的一个重要组成部分。

第二次世界大战中，飞机大量运用于军事。由于飞机速度快、航程远，仍用光学设备侦察已不能适应作战要求，于是出现了雷达。由于雷达能够准确测定目标，并能判别目标的敌、友性质，从而成为军队名副其实的“千里眼”。战后，雷达技术发展非常迅速，除主要用于军事外，还在交通、能源、公安、医学、生物、航空测绘、探矿、气象、天文、工业控制及文艺、体育等国民经济和科学技术各部门获得了广泛应用，在人类社会的各个领域占有极其重要的地位。

雷达是靠接收目标的回波来发现和跟踪目标的。同时依靠雷达敌我识别系统向发现的目标发出专门的编码询问脉冲，由于只有己方目标才能发回约定的密码应答脉冲，从而判别出远方目标的敌我性质。为了破坏敌方雷达的有效工

作，可实施有源和无源干扰。有源干扰是利用专门的干扰发射机发射干扰电波，以破坏和妨害敌方雷达对目标回波的接收和检测；无源干扰则利用无源器材产生杂乱的回波或减弱目标对电波的反射，以破坏雷达对目标的发现和跟踪。

无源对抗的一个新发展就是隐身技术。80年代才获得突破性进展的飞行器隐身技术与高能激光、巡航导弹一起被列为军事科学上最新的三大技术革新。

今天，雷达对抗，更确切地说是电子对抗，已被视为继海、陆、空之后的第四战场。专家们预测，“未来战争，胜利将属于能更好地控制和操纵电磁频谱的一方。”

为了帮助读者朋友了解电子科学的“千里眼与隐身术”这一新成就，作者在这里比较全面而深入浅出地介绍了雷达和隐身技术的历史发展、工作原理、使用价值和前景趋势；同时又捕捉了一些新闻报道中的热门话题，介绍了有关的最新科技和理论信息的应用。纵观全书，不难发现其中既有科普知识的阐述，又有科学理论的概括；既有引人入胜的现代战争描写，又有神秘莫测的未来战争预测。作者力求融科学性、预见性、启发性、趣味性为一体，使之适于具有中等文化程度的同志，尤其是我们的青年学生、青年战士及军事工作者阅读。

科学技术是第一生产力。20世纪80年代以来，国际竞争正由争夺军事、经济优势转向争夺综合国力的优势。这种竞争实质上是科技和人才的竞争，是教育的竞争。未来是青年的，青年渴望成材，时代也在呼唤着青年成材，中华民族寄希望于青年一代。在振兴中华，加强社会主义物质文明和精神文明建设的今天，我们不仅需要各种专著，而且更迫切需

要有一大批优秀的科普读物来武装我们的青年。我国著名微波专家、学部委员林为干教授的学生张登国博士编著的这本书，向读者，尤其是青年朋友介绍了现代电子科学技术的最新成就。《千里眼与隐身术》能开拓人们的视野，丰富读者的知识，激励青年去勇攀新的科技高峰。这是一本很好的科普读物。作为一个教育工作者，我欢迎有更多的专家、学者来为我们的青年著书立说，希望有更多的新书、好书献给立志献身祖国现代化、献身未来的青年！

卢铁城

1989年3月

# 目 录

## 奇妙的电磁波

马拉松赛跑与现代通信·电和磁·完美的对称·电磁波的家族……………1

## 从蝙蝠到千里眼

蝙蝠的启迪·大战的产儿·在战争中成长……………10

## 千里眼——雷达

概述·构造·工作波段·原理·敌我识别……………23

## 各行各业中的千里眼

交通·宇航·天文·遥感·气象·其它……………38

## 战场上的雷达

军用雷达的型式·地面雷达·舰用雷达·机载雷达·47

## 静悄悄的“耳目”——雷达侦察

实施干扰的前提·雷达侦察机构造·各式雷达侦察机·雷达的侦察搜索……………60

## 看不见的长城——雷达干扰

雷达对抗的关键·两类雷达干扰机·有效的无源干

扰·摧毁雷达的武器·····	75
军事科学的新挑战——飞行器隐身	
从迷彩服说起·隐身妙法·新型飞行器·眼镜的学 问·····	96
潜力巨大的激光雷达	
特殊的红外线·夜幕下的“夜鹰”·威力无比的激光 ·潜力巨大的激光雷达·光束铸造的长城——光电干 扰·光束“长城”的摧毁——光电对抗·····	109
潜艇的死敌——声纳	
海洋中的声波·水下雷达——声纳·声纳的秘密·水 声电子侦察·潜艇战与反潜战·潜艇的御敌招法·	129
科学之战的序幕正在拉开	
战争——科学的竞技场·第四战场的开辟·····	153
点与面——从雷达对抗看电子对抗	
巧用电子对抗的诺曼底登陆战·内容深阔的电子对抗· 现代战争的注视焦点·他山之石，可以攻玉·····	162
电子对抗的前景与展望	
电子对抗的特点·电子对抗发展的趋势·向太空进军· 未来的战争·····	185
主要参考文献·····	213
后记·····	214

# 奇妙的电磁波

## 马拉松赛跑与现代通信

朋友们是否知道，奥运会最后一项比赛——马拉松赛跑的距离为什么要规定为42.195公里。说起来，这还与人类早期的通信活动有关呢。

公元前约500年，希腊人在一个称作马拉松的地方抗击波斯人的入侵，打了大胜仗。为了传递捷报，一名身强体壮的勇士，以最快的速度跑完了42.195公里的全程，把胜利的喜悦传到首都雅典。但是，这位勇士终因精疲力竭而死去。为了纪念这位勇士，人们把当今世界最长距离的赛跑命名为“马拉松”赛跑，并把它距离定为42.195公里。把它安排在奥运会比赛的最后，是表示要让奥运会的火炬在马拉松赛跑中不停地燃烧，让奥运会精神长远地延续下去。

确实，在生产技术落后的古代，远距离的信息传递，也只能靠人力直接进行。这种原始的信息传递方法，在我国后来发展成为驿站制度，即在交通要道一定距离处建立起传递信息的机构——驿站，由勇士骑马、乘船，一站接一站地接力传送。

我国古代，除了用人力传递信息外，还独具匠心地使用

烽火来传递信息，这是世界上最早使用的火光通信。起初的火光通信只是在有限的范围内传送简单的信息，比如报告自己所在的位置。随着社会的发展，人们要求传递的信息日益增多，于是又通过改变火光的形式来增加传输的信息量，并在传递过程中也安排一些人来接力，以此扩大传递距离，缩短传递时间。举世闻名的万里长城，在两千多年前就设有传递信息的烽火台，即在每隔一定距离的山峰或高岗上筑起一座座储有柴草的火台，一旦发现敌情便立刻点燃柴草，白天浓烟滚滚，黑夜火光熊熊，邻台见了便相继点火，一台一台传向内地，直至京城，通风报信，求援告急。同时，又以此传令全线戍兵，严阵以待或投入战斗。

不论是人力传递信息，还是使用烽火报警，都属于最早的通信方法。今天，这些方法无疑已经成为历史。

1844年莫尔斯发明电报和1876年贝尔发明电话之后，电作为一种工具被带到了通信的历史舞台上，信息传递开始进入一个崭新的时代。从此，有线电通信开始风靡全球。沿着细细的导线，电子，这位神奇的天使，当今世界最活跃的精灵，可以使信息纵越五洲，横跨大洋。当历史的车轮又迈过了漫长的半个世纪后，人类又实现了无线电通信，这比起有线电通信，更是能耐惊人。

今天，无线电通信正日新月异地发展着。无线电波遨游太空，深入海底，穿越井下，飞过原野，真是无所不在，无时不有。在蓝天翱翔的银鹰中，在风烟滚滚的战场上，在鳞次栉比的办公大楼里，在悠然恬静的居民庭院内……人们都在享受着无线电通信给工作上带来的方便、给生活上带来的乐趣。

电子时代开始了。

## 电和磁

人类赖以休养生息的这个地球，随着科学技术的发展，正在不断“缩小”。当年，拿破仑在西西里岛上死亡的消息是在两个月之后才传到巴黎的，这如果是在今天，便只需要几秒钟。我们坐在电视机前，可以看到发生在全球各地的当日新闻。1969年7月当两名美国人乘“阿波罗号”飞船登月舱，实现人类第一次登上月球的重要时刻，数十个国家的7亿多人可以通过电视机亲眼见到发生在将近40万公里外的这一奇迹；1980年11月，宇宙飞船“旅行者一号”在离地球15亿公里处，把太阳系中土星的近影通过粼粼电波，清晰地发送到地球上来，使人类得以一饱眼福；1988年12月，4名苏联宇航员和1名法国宇航员进入太空后，在莫斯科召开的太空记者招待会上，各国记者通过无线电波能与宇航员直接对话，畅谈感受……。

无线电通信创造了何等惊人的奇迹！

要认识、理解这些奇迹的发生，还需从电和磁谈起。

古希腊人早已知道摩擦琥珀起电和天然磁石吸铁等现象，神奇的指南针在我国也至少可追溯到公元前2世纪，而作为电和磁的科学却是在近百多年才发展起来的。17世纪和18世纪初期的科学家们面临的是象摩擦起电、电火花的形成这样一些错综复杂的现象，而由于缺少基本的静电学概念，他们没有能力弄清这些现象的根源。

“电量”的概念从17世纪以来就已非常流行，而且从一



开始就没有任何真实根据地认为电荷守恒。今天我们已经知道，正电荷的最基本荷电体（即原子核）和负电荷的最基本荷电体（即电子）是物质的最基本组成部分。

1785年库仑发表了他的定律：两个电荷间的相互作用力与两电荷的电量乘积成正比，且与电荷间距离的平方成反比，力的方向沿着电荷之间的连线，其指向按同性相斥、异性相吸来决定。由此，电学终于进入了科学的行列。然而库仑假设两个电荷之间的作用力与电量成正比，这纯粹是对牛顿万有引力定律所作的一种类比，因而当他将其又类比到磁上时，就注定只有失败。

伽伐尼医生于1792年所报告的对于在电火花附近或雷雨来临时与金属环相接触的蛙腿发生痉挛的观察，引起了人们极大的兴趣，从而导致了电池的发现和对电解的利用。奥斯特于1820年在作磁极和断路的伏打电堆之间的相互作用的研究时，碰到了磁针被电流偏转的现象，从而也就在一个旋转电路上发现了一个与磁体相当的定向力。在证明了螺线管的作用象磁棒一样以后，毕奥和沙伐特两人根据已有的实验结果同时独立地表述了以他们的名字命名的关于单一电流线元的磁作用定律，从而把磁现象最终归因于电流——电荷的有序流动。

就这样，电和磁分别由两类不同目的的研究者关心者、发展着。直到19世纪60年代后期，英国物理学家麦克斯韦天才地将电和磁这两种看来似乎完全互不相关的东西结合起来，实现了电和磁在美学上的对称。

## 完美的对称

1831年当法拉第将两个线圈绕在铁环上时，他发现了与电流的磁作用相对应的磁对于电流的反作用。当对第一个线圈通电时，在接通电路的一瞬间，在第二个线圈中也出现了电流；而在断开第一个线圈的电路时，在第二个线圈上又出现了一个反方向的电流。于是，感应现象被发现了。随之，电机制造得以实现。

法拉第也是正确认识电磁现象的带路人之一。通过他在1837年后的一系列实验，人们知道电和磁的作用不是没有中介地从一个物体传到另一个物体（所谓超距），而是通过处于中间的电介质传送的，于是电介质成为电“场”或磁“场”的场所。“场”是物质存在的一种形式，今天我们提起它时，几乎将它看成是波的同义词了，而“场”的概念却是来源于法拉第。

1862年，天才的麦克斯韦在传导电流之外又引进了位移电流，后者出现在任何有变化的电场强度的电介质中，并且只有和这个位移电流一道才能始终形成闭合的总电流。通过位移电流，麦克斯韦预言了电磁波的存在，并相信电磁波的传播速度等于光速。

麦克斯韦创造和总结出的电磁理论方程组为：

$$\left\{ \begin{array}{l} \nabla \times E = -\frac{\partial(\mu H)}{\partial t} - J_m \end{array} \right. \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \nabla \times H = \frac{\partial(\epsilon E)}{\partial t} + J \end{array} \right. \quad (2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \nabla \cdot (\epsilon E) = \rho \end{array} \right. \quad (3)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \nabla \cdot (\mu H) = \rho_m \end{array} \right. \quad (4)$$

对称形式为： $E \quad H \quad \epsilon \quad \mu \quad \rho \quad \rho_m \quad J \quad J_m$



$H \quad -E \quad \mu \quad \epsilon \quad \rho_m \quad \rho \quad J_m \quad -J$

即上、下排对应参量互换后，(1)~(4)方程组保持不变。方程组中， $\nabla \times$ 、 $\nabla \cdot$ 、 $\partial/\partial t$ 等为算符； $\rho$ 、 $\rho_m$ 、 $J$ 、 $J_m$ 为激励源， $\rho_m$ 、 $J_m$ 目前不存在； $\epsilon$ 、 $\mu$ 为介质参量。于是可看出(1)~(4)式具有真正完美的对称形式，电磁学家在这组方程中领悟了诗歌般的意境，事实上方程形式本身就象一首简短的抒情诗。

麦克斯韦方程组具有丰富的物理学内容：由于引入了位移电流项 $\partial(\epsilon E)/\partial t$ ，(2)式表明不仅象奥斯特证明的那样，电流 $J$ 能激发磁场 $H$ ，而且变化的电场 $E$ 也能激发磁场，这正象在法拉第定律(1)中所述，变化的磁场也能激发电场一样。

麦克斯韦方程组的完美对称形式对我们无疑是一种启示，虽然方程组对称本身仅仅是形式上的问题。但当德国物理学家赫兹于1888年首次用实验的方法产生了无线电波，并直接用频率和波长来测定电波的传播速度且发现了它正好等

于光速时，世界就不得不为之震动了！

自然科学发展的历史，是其不断接受实践检验的历史。今天，无数有志的青少年立志献身于物理学，这是因为物理学属于自然科学，它象其它科学一样，有其自身的客观真理性。物理学史中总是一再出现两种一直完全互不相关的东西突然相结合的例子，比如上面提到的电磁波的速度等于光速，就使得截然分开的电磁学和光学不期而遇，并且自然地相结合。凡是经历或知晓这种令人极为惊奇的事件的人都不会怀疑，这些物理上相互结合的理论，即使不包含完全的真理，终究也包含了与人类的外加因素无关的客观真理的一种重要的内核。

## 电磁波的家族

波象粒子一样，是物质存在的一种形式。而波本身的形式也是多种多样的。我们在这里只谈及电磁波。

正如麦克斯韦方程所表述的那样，变化的电场将产生变化的磁场；变化的磁场又将产生变化的电场。这种交替产生、循环往复、由近及远地传播着的变化电场和变化的磁场，就是电磁波（如图1所示）。

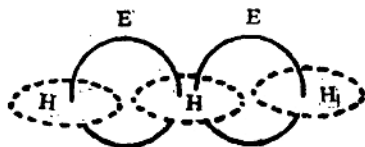


图1 电磁波传播示意

1895年，意大利的马可尼和苏联的波波夫第一次实现了无线电信号的发射和接收。1899年 马可尼成功地实现了英国海岸与法国海岸距离约45公里的无线电通信。1902年，马可尼又进行了跨越大西洋的洲际无线电电报通信实验并获得完满的成功。这些具有深远历史意义的实验，给人们展示了无线电通信的锦绣前程。我们这里将要讲的“千里眼”，就是利用发射电磁波，同时再接收由目标返回的电磁波来进行工

表 1

电磁波谱

名称		波长	
无线电波	超长波	>10千米	
	长波	10~1千米	
	中波	1000~100米	
	短波	100~10米	
	米波 <sup>①</sup>	10~1米	
	微波	分米波 <sup>②</sup>	10~1分米
		厘米波	10~1厘米
毫米波		10~1毫米	
红外线	1000~0.78微米 <sup>③</sup>		
可见光	0.78~0.39微米		
紫外线	0.39~0.01微米		
X射线	0.01~10 <sup>-5</sup> 微米		
γ射线	10 <sup>-5</sup> ~10 <sup>-9</sup> 微米		

注：①米波又叫超短波、甚高频(VHF)。

②分米波又叫特高频(UHF)。

③微米，合10<sup>-6</sup>米。

作、完成侦察等任务的。

已经证明，无线电波、红外线、紫外线、可见光、 $x$ 射线、 $\gamma$ 射线等都是电磁波。它们形成了电磁波的“家族”，称为电磁波谱，如表1所示。

# 从蝙蝠到千里眼

## 蝙蝠的启迪

人是动物之灵。然而，某些低级动物的特殊本领却成了人类争相效仿的对象和打开人类智慧的钥匙。即便在今天，模仿和实现动物的特殊本领也是人类进行科学活动的一个重要方面。

日常生活中这方面的例子不胜枚举，电灯的出现就是起因于对萤火虫的思考。更为浅显的例子是人们由于鸟、鱼和蝙蝠的启迪而发明了飞机、舰船和雷达（俗称千里眼），就象图2所描绘的那样。

人类自古就幻想着能象鸟一样飞翔，在经过一系列的尝试、失败、再尝试的过程后，在本世纪初，美国的莱特兄弟俩终于发明了飞机。从那以后，不少人又热衷于实现人类离开地球，飞向茫茫太空的美好愿望。这导致了今天宇航事业的蓬勃发展。同样，人类对鱼的希冀促成了舰船的诞生。虽然我们现在已经无法考证船出现的确切年代，但是我们可以肯定地说，船及其同类——潜艇的出现，很大一部分要归因于人类对鱼的思索。

蝙蝠是一种具有飞翔能力的哺乳动物。它的前肢除第一

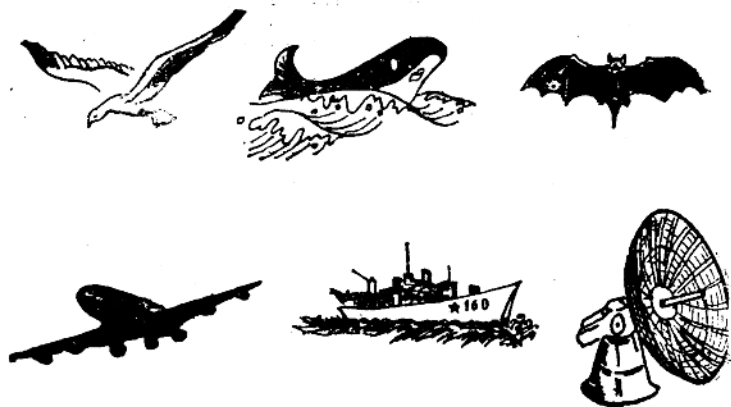


图2 从鸟、鱼、蝙蝠到飞机、舰船、雷达

指外均极为细长、指间以及前肢与后肢之间有薄而无毛的翼膜，通常后肢之间也有翼膜，这使得蝙蝠与一般的哺乳动物不同，它可以展翅飞翔。每当夜幕降临时，蝙蝠开始四处活动，捕捉飞蛾和蚊子等。有意思的是，在黑夜中，它无论怎么飞，也不会碰壁，即使是一根极细的电线，它也能灵巧地绕开。这是什么缘故呢？难道它们长了一双夜明眼？

为了弄清这个问题，100多年前，科学家们做了一个试验：在一间黑暗的屋子里，横七竖八地拉了许多绳子，绳子上系着许多铃铛。他们把蝙蝠的眼睛蒙上，让它在屋子里飞。蝙蝠飞了几个钟头，铃铛一个也没响。可见，蝙蝠并不是靠眼睛导向的，实际上，它们的眼睛已退化到了“鼠目寸光”的地步。

科学家们以后又做了两次试验。一次把蝙蝠的耳朵塞



上，一次把蝙蝠的嘴封住，让它在同一个屋子里飞。在这两次试验中，蝙蝠都像没头的苍蝇，到处乱撞，铃铛不停地响起来。这证明，蝙蝠夜间飞行时，探路的工具不是眼睛，而是嘴和耳朵。

科学家们反复研究，终于揭开了这个秘密。蝙蝠在空中飞行，一边飞一边从嘴里发出一种声音。这种声音叫做超声，人们的耳朵听不见，蝙蝠的耳朵却能听见。超声像波浪一样向前推进，遇到障碍物便反射回来，蝙蝠的耳朵就听到了。蝙蝠就凭着嘴和耳朵对超声的一发一收，探路、飞行和猎获食物。

蝙蝠的一发一收本领成了人们发明千里眼的依据。换句话说，是蝙蝠的启迪导致了千里眼的诞生。夜航飞机上的雷达，相当于蝙蝠的嘴和耳朵。雷达通过发射天线发射无线电波，遇到障碍物时，无线电波就反射回来，被雷达的接收天线接收，然后显示在荧光屏上。有了雷达，飞行员就能在夜间安全地飞行了。

人类的发展史是一部人类不断完善自己的历史。随着莱特兄弟俩研制飞机的成功，各式各样的飞机相断出现，但从用途归结起来，则不外民用和军用两种。从历史上看，飞机一出现就被用于战争。到了第二次世界大战，飞机更是大量地用于军事，由于作战飞机的速度快、航程远，仅凭光学设备已无法侦别它的行踪。显然，用于战争的飞机也是促使千里眼诞生的直接原因之一。

## 大战的产儿

蝙蝠的启迪，作战飞机的出现，是雷达诞生的原因。但