

DIANCIFUSHE DUI RENTI DE
YINGXIANG JI FANGHU

电磁辐射 对人体的影响及防护

■ 主 编 胡海翔 李光伟



人民军医出版社

PEOPLE'S MILITARY MEDICAL PRESS

电磁辐射对人体的影响及防护

DIANCIFUSHE DUI RENTI DE YINGXIANG JI FANGHU

主 编 胡海翔 李光伟



人民军医出版社

PEOPLE'S MILITARY MEDICAL PRESS

北 京

图书在版编目(CIP)数据

电磁辐射对人体的影响及防护/胡海翔,李光伟主编. —北京:人民军医出版社,2015.9
ISBN 978-7-5091-8491-2

I. ①电… II. ①胡… III. ①电磁辐射—影响—健康—研究 IV. ①X591 ②R161

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 181168 号

策划编辑:管悦 张怡泓 文字编辑:杜海洲 黄维佳 责任审读:王三荣

出版发行:人民军医出版社 经销:新华书店

通信地址:北京市 100036 信箱 188 分箱 邮编:100036

质量反馈电话:(010)51927290;(010)51927283

邮购电话:(010)51927252

策划编辑电话:(010)51927300—8060

网址:www.pmmp.com.cn

印、装:三河市春园印刷有限公司

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:12.5·彩页 6 面 字数:295 千字

版、印次:2015 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

印数:0001—1500

定价:75.00 元

版权所有 侵权必究

购买本社图书,凡有缺、倒、脱页者,本社负责调换

主编简介



胡海翔 医学博士,中国人民解放军空军总医院中西医结合男科主任,主任医师,博士研究生导师,享受军队优秀人才岗位津贴,空军高科技人才。现任全军优生优育专业委员会常委,空军生殖专业委员会副主任委员,中国中医药促进会生殖学会副主任委员,北京中医男科学会常委,北京中西医男科学会常委,《中国性科学》杂志编委。长期从事中西医结合男科基础与临床研究,先后承担国家自然科学基金、全军“十一五”重点课题、“十一五”军队指令课题、“十一五”军队攻关课题、首发基金课题等多项研究,曾获中华中医药科技进步二等奖、解放军科技进步二等奖、解放军医疗成果二等奖多次,发表论文 80 余篇,主编《前列腺疾病》《飞行员生殖疾病诊疗指南》《男性生殖健康小常识》等专著。



李光伟 博士,空军装备研究院雷达与电子对抗研究所副所长兼总工,专业技术 4 级,空军高层次人才。国家科技成果评审委员会委员,全军武器装备科技奖评审委员会委员,中国电子学会高级会员,中国国防科学技术信息学会理事,北京航空航天大学理事。在雷达工程、工程光学、光电对抗、机场保障等专业领域具有扎实理论基础和丰富实践经验,是国家重大仪器专项“三维激光扫描仪”负责人,主持完成了数百套装备的研制和推广。获军队科技进步一等奖 1 项,军队科技进步二等奖 5 项,国家发明专利 10 余项,发表论文 20 余篇。

内容提要

通信、雷达、电子对抗、航空、舰艇等是我国高科技发展的重要行业,在国防事业中发挥着重要作用。但由于工作需要,其作业环境中常存在着电磁辐射,对人体健康有一定的不良影响,而这一影响往往被人们所忽视。本书以普及电磁辐射及防护知识为目的,从相关从业人员和科研人员、临床医师等工作的实际需要出发,对电磁辐射的历史、发展、特征分类、典型辐射源、防护标准和方法、生物学效应及对人体健康的影响等进行了全面系统的阐述。

作为临床医学参考用书,本书可供电磁波相关从业人员、临床医师、各级工业卫生防护监测人员、职业病防治及其他卫生工作者参考阅读。

编著者名单

总策划 曾立斌

主 编 胡海翔 李光伟

副主编 高雅静 陈京平 徐少强 王晓莉

编 委 (以姓氏笔画为序)

丁浩浩 于 欣 马新平 王佳宁

韦仕福 方 红 田 燕 刘洪源

闫 海 孙 哲 李 佳 李 柱

李 翔 李昌成 李净草 宋晓琳

沈传运 张红蕾 张启龙 罗少波

胡春丽 高其嘉 董 静 谢亚兰

魏利召

序 一

在广袤的地球上,电磁波看不见、摸不着,却又无处不在。它与人类生产生活日渐紧密联系的同时,也使我们面临的电磁辐射威胁日益严峻,许多资料将其列为继水、空气、噪声之后的第四大污染源。近年来,有关电磁辐射可能危害人体健康的报道时常出现于各类媒体。在人人关注健康的今天,电磁辐射的危害与防护已逐渐成为大众关注的焦点。

电磁辐射分为电离辐射和非电离辐射,电离辐射能量较大,可使人体细胞的分子原子发生电离,造成较大损伤;非电离辐射不会导致电离,生活中常见的电磁辐射多为此类。研究表明:非电离辐射对人体的影响有热效应、非热效应等。热效应指由人体水分子在电磁辐射作用下作取向运动、发生碰撞和摩擦所引起的温升超过人体体温的调节能力的情况,此时,人体中水分含量较多的器官容易受到影响,如:眼睛晶状体浑浊引发白内障、男性生殖系统功能下降导致不育等。非热效应则指温升未超过人体体温调节能力的情况,这种情况下,人体产生的典型症状有:头晕、头痛、耳鸣、失眠、多梦、神经衰弱、厌食、烦躁和生物钟紊乱等。简单来看,电磁辐射对人体健康产生危害的程度与照射电磁波的频率、强度、照射时间长短、人体被照射的位置等因素密切相关。

本书较系统地介绍了电磁辐射的起源、历史、现状与发展,对人们日常使用的电子产品,工作中接触到的仪器和设备,生活中身边存在的各类电磁辐射源所产生的电磁辐射原理、特征、检测方法、对人与环境的影响以及防护标准和措施等进行了由浅入深的阐述;同时,还结合编者的临床医学研究,从专业角度分析了电磁辐射的生物医学效应,以丰富详实的数据、科学可信的方法对其危害人体的机理和影响途径等作了准确阐述,力求为医务工作者提供专业的生理和心理治疗指导,是一本值得推荐的既可为大众提供科普常识,又能专业展开的参考书!

空军装备研究院雷达与电子对抗研究所所长



院士

2015年6月

序 二

在军事领域,以电磁波为基础的无线电侦察、通信、电子对抗等技术被广泛使用,已成为现代军事技术的核心和灵魂;在生活中,广播、电视和手机等的使用为人们生活带来了极大便利,但同时也把人们带入到一个电磁辐射环境当中,成为人体健康的潜在威胁源。电磁辐射的危害、防护和生物学效应等问题,已在国内外日益引起广泛重视。

电磁场对人体危害的报道,最早见于20世纪50年代,一名雷达从业人员因长期接触高强度电磁波导致白内障,引发了人们对此问题的关注,此后各国纷纷展开了研究。为了深入研究电磁辐射的危害和防护问题,通常需要对电磁辐射和其如何与生物体相互作用有一个清晰、完整的认识,这涉及医学、生物物理学、电子工程等多个学科领域。而无论无线电从业人员还是临床医师,这方面的知识都极其有限;而且,在实际中,人们往往由于对电磁辐射缺乏足够的认识,而忽视其可能造成的身体危害。针对这种现状,尤其是面对近年来日益增加的高辐射风险人群(如通信、雷达从业人员)电磁辐射防护需求,由空军总医院胡海翔主任和空军装备研究院雷达与电子对抗研究所李光伟副所长共同担任主编,领衔组织中国人民解放军空军系统相关医学、电子工程等方面的专家编写了这本《电磁辐射对人体的影响及防护》,目的是普及电磁辐射与防护知识,为无线电从业人员及大众认识电磁辐射并在工作生活中有意识的开展必要的电磁辐射防护提供指导和依据。

本书是在充分汲取国内相关书籍编写经验的基础上,通过对国内外相关研究报告和资料进行整理,结合本书编者长期研究成果综合汇集、分析而成,可基本反映目前国内外在该领域的研究动态和进展。本书编写规范,结构合理,科学性和实用性强,为方便各类读者掌握相关原理,还使用了大量图例,相信不论是无线电从业人员,还是临床医师,亦或是相关领域科研人员及普通读者,都能够从中受益。

特向愿意了解相关知识的广大读者朋友推荐此书。

中国人民解放军空军总医院院长



2015年6月

前言

随着现代科学技术的飞速发展,无线电技术已被广泛用于国防、通信、信息产业和工农业生产等各个方面,电磁辐射成为人类健康的新的威胁源。然而,何为电磁辐射?电磁辐射对人体到底有哪些危害?其产生危害的作用机理是什么?如何进行防护?本书试图对这些问题一一解答。客观地讲,任何交变电路都会以电磁波的形式向其周围空间辐射电磁能,这种现象被称为电磁辐射。现实中,由于许多生产生活设备都依靠发射或接收电磁波发挥功能,使我们无时无刻不暴露在电磁辐射环境中。近年来,有关电磁辐射对人体造成危害的案例时有发生,已逐渐引起人们的关注,不过由于其危害的隐秘性、长期性及危害程度的不确定性,目前仍未引起普遍的重视。

从理论研究和临床经验看,电磁辐射影响人体的机理主要有“热效应”和“非热效应”两种。由于人体70%是水,高频电磁波对生物肌体细胞会产生“加热”作用,使肌体升温,如果吸收的辐射能过多,靠体温的调节无法把热量散发出去,就会引起体温升高,从而引发各种症状,如:心悸、心动过缓、白细胞减少,生殖功能损伤、视力下降等,这就是“热效应”;非热效应时体温不会明显升高,但会干扰人体固有的微弱电磁场,使血液、淋巴液和细胞原生质发生改变,对人体造成危害。长期受“热效应”和“非热效应”的影响,人体的中枢神经系统、心血管系统、内分泌系统、血液和生殖系统、免疫功能等均会遭受一定的损伤。

尽管电磁辐射对人体具有潜在的危害作用,但我们大可不必为此烦恼。因为通过采取科学合理的防护措施,可大大降低我们在电磁辐射环境中遭受损伤的概率。同时,对长期工作于高辐射环境下的人群而言,通过学习培训掌握正确的个体防护技能,将会有效保护身体健康。

本书的主体内容是在检索国内外相关报道、资料的基础上,结合编者前期研究成果综合汇编而成。纵观全书,第1章主要对电磁辐射的概念、历史和发展进行了概述;第2~4章则围绕电磁辐射,重点介绍了其特征、分类、生活中常见的辐射源、检测方法和防护标准等内容;第5~6章从专业角度,运用大量数据分析了电磁辐射的生物学效应,包括对人体造成危害的机理和作用途径等;第7章对电磁辐射防护技术及如何开展辐射防护进行了阐述,并提出了意见建议。

本书能在短时间内完成编印,得力于中国人民解放军空军后勤部卫生部和空军总医院机关、领导的支持、指导和帮助。空军总医院王建昌院长和空军装备研究院雷达与电子对抗研究所所长陈志杰院士在百忙之中对全书总体策划和编写给予了热情关注,提出了宝贵意见,并欣然受邀为本书作序,在此,我们代表全体编者表示最诚挚的谢意!

由于编者水平和经验有限,书中难免有疏漏之处,请各位读者和同仁不吝批评指正。

中国人民解放军空军总医院 胡海翔
空军装备研究院雷达与电子对抗研究所 李光伟

2015年6月

目 录

第1章 绪论	(1)
第一节 人类对电磁辐射的认识	(1)
第二节 电磁辐射的应用与发展	(6)
第三节 电磁辐射对人体的影响	(8)
第2章 电磁辐射的特性和分类	(11)
第一节 电磁辐射相关的几个参量	(11)
一、电磁波的周期	(11)
二、电磁波的频率	(11)
三、电磁波的波长	(12)
四、电磁波的相位	(12)
五、电场与电场强度	(12)
六、磁场与磁场强度	(13)
七、均匀平面波及特性	(15)
八、能量密度和能流密度	(15)
九、电磁波的极化	(16)
第二节 描述电磁辐射对人体作用的参量	(17)
一、感应电场和感应电流	(17)
二、电流密度	(17)
三、比吸收率(SAR 值)	(17)
第三节 电磁辐射的分类	(18)
一、按物理特性分	(18)
二、按频段分	(18)
三、按产生源分	(19)
四、按信号特征分	(20)
第四节 电磁辐射场区的划分	(20)
第五节 电磁辐射的传播特性	(21)
一、电磁波的传播方式	(21)
二、电磁波的传播特性	(23)
第3章 典型的电磁辐射源	(25)
第一节 广播电视发射塔	(25)

第二节 移动通信基站	(27)
第三节 雷达、导航系统	(29)
第四节 工业、科学和医疗设备	(31)
第五节 电力和电力传输系统	(32)
第六节 交通运输系统	(34)
第七节 日常生活中的电磁辐射源	(35)
一、手机	(35)
二、微波炉	(36)
三、电磁炉	(37)
四、电视	(37)
五、电脑	(37)
六、无线 Wi-Fi 设备	(38)
第 4 章 电磁辐射的检测评价及防护标准介绍	(40)
第一节 电磁辐射的检测与评价	(40)
一、电磁辐射检测方法	(40)
二、电磁辐射超标评价	(42)
第二节 常用检测设备介绍	(42)
一、频谱分析仪	(42)
二、场强仪	(43)
三、微波漏能仪	(44)
四、干扰接收机	(44)
五、测量天线	(44)
第三节 电磁辐射检测案例	(45)
一、目的依据	(45)
二、基本情况	(45)
三、检测方法	(45)
四、检测结果	(46)
五、结果分析	(48)
第四节 电磁辐射防护标准介绍	(49)
一、国外标准情况	(49)
二、国内标准情况	(51)
三、我国军用标准情况	(53)
第 5 章 电磁辐射的生物学效应	(56)
第一节 电磁辐射的热效应	(56)
一、能量吸收和热作用	(56)
二、重复辐射和微波热效应	(56)
三、功率密度和其他因素	(57)

四、热平衡方程式·····	(57)
五、总结·····	(58)
第二节 电磁辐射对中枢神经系统的作用 ·····	(58)
一、血-脑屏障反应·····	(58)
二、酶和离子效应·····	(59)
三、脑电图效应·····	(60)
四、复苏效应·····	(61)
五、行为变化·····	(61)
六、神经系统组织结构的改变·····	(62)
第三节 电磁辐射对循环系统的作用 ·····	(63)
一、循环系统的解剖及生理·····	(63)
二、损伤机制·····	(63)
三、电磁辐射对心脏损伤的量-效关系·····	(65)
四、电磁辐射对心脏形态学的影响·····	(65)
五、微波辐射对循环系统功能的影响·····	(68)
第四节 电磁辐射对内分泌系统的作用 ·····	(73)
一、下丘脑-垂体-肾上腺反应·····	(74)
二、下丘脑-垂体-甲状腺反应·····	(76)
三、电磁辐射对松果体的影响·····	(77)
四、代谢的反应·····	(78)
五、对血糖的影响·····	(78)
第五节 电磁辐射对血液系统的影响 ·····	(80)
一、电磁辐射对血细胞的影响·····	(81)
二、对血液生化及某些递质的影响·····	(83)
第六节 电磁辐射对免疫功能的影响 ·····	(88)
一、电磁辐射对淋巴细胞的影响·····	(89)
二、电磁辐射对免疫球蛋白的影响·····	(91)
三、移动通信产生的电磁辐射对免疫系统的影响·····	(92)
第七节 电磁辐射对消化系统的作用 ·····	(96)
一、电磁辐射对胃的影响·····	(99)
二、电磁辐射对肝脏的影响·····	(99)
三、微波辐射对小肠的影响·····	(102)
第八节 电磁辐射对生殖系统、妊娠胚胎发育和遗传的作用 ·····	(105)
一、电磁辐射对男性生殖系统的影响·····	(105)
二、电磁辐射对女性生殖系统的影响·····	(117)
三、电磁辐射对妊娠胚胎发育和遗传的影响·····	(122)
第九节 电磁辐射对眼的作用 ·····	(129)
一、电磁辐射对晶状体的作用·····	(130)
二、电磁辐射对视网膜的作用·····	(131)

三、电磁辐射对角膜的影响	(133)
第十节 电磁辐射对皮肤的作用	(133)
一、微波辐射对皮肤的热效应损伤	(134)
二、微波辐射对皮肤的非热效应损伤	(135)
第十一节 听反应及其他作用	(136)
一、听反应	(136)
二、电磁辐射对生物体的其他作用	(138)
第十二节 生物学作用的机制	(138)
一、热效应机制	(138)
二、非热效应的机制	(139)
第 6 章 电磁辐射对人体健康的影响	(142)
第一节 急性电磁辐射损害	(142)
第二节 电磁辐射对神经系统的影响	(143)
一、对脑电图的影响	(143)
二、对脑血流的影响	(144)
三、神经行为变化	(144)
第三节 电磁辐射对内分泌系统的影响	(145)
一、对肾上腺的影响	(145)
二、对性激素的影响	(146)
三、对甲状腺的影响	(147)
四、代谢反应	(148)
第四节 电磁辐射对循环系统的影响	(148)
一、对心脏自主神经功能的影响	(148)
二、对心率的影响	(148)
三、对心电图的影响	(149)
第五节 电磁辐射对血液生成的影响	(150)
一、电磁辐射对于血液细胞的遗传学损伤	(150)
二、电磁辐射对血液中主要成分的影响	(151)
三、电磁辐射对血液生化、电解质的影响	(152)
第六节 电磁辐射对免疫系统的影响	(153)
一、电磁辐射对淋巴细胞的影响	(153)
二、电磁辐射对免疫球蛋白的影响	(154)
第七节 电磁辐射对消化系统的影响	(156)
一、对胃、肠的影响	(156)
二、对肝、胆的影响	(157)
三、对促胃液素的影响	(157)
第八节 电磁辐射对性器官、性功能的影响	(158)
一、对男性生殖系统的影响	(158)

二、对女性生殖系统及妊娠胚胎发育的影响	(163)
第九节 电磁辐射对眼的影响	(166)
一、不同波长电磁辐射对眼的影响	(166)
二、辐射与眼科疾病	(167)
第十节 电磁辐射对配置置入设备的人的影响	(168)
第 7 章 电磁辐射防护	(170)
第一节 电磁辐射危害的影响因素	(170)
一、辐射源因素	(170)
二、辐射源安装使用位置因素	(171)
三、职业暴露因素	(172)
四、其他引起辐射超标的因素	(172)
第二节 电磁辐射防护技术	(173)
一、辐射源控制	(173)
二、电磁屏蔽	(173)
三、接地技术	(175)
四、吸波技术	(176)
五、个体防护技术	(177)
第三节 医学防护措施	(178)
一、常规体检	(178)
二、专项体检	(178)
三、日常饮食	(179)
四、抗电磁辐射药物	(180)
第四节 环境电磁辐射防护对策	(181)
一、科学规划,合理设计	(181)
二、综合防护,建立体系	(182)
三、完善法规,健全标准	(182)
四、做好防辐射知识普及	(183)
第五节 生活中常见设备的电磁辐射防护	(183)
一、手机的辐射防护	(183)
二、微波炉的辐射防护	(183)
三、电磁炉的辐射防护	(183)
四、电视的辐射防护	(184)
五、电脑的辐射防护	(184)
六、无线 Wi-Fi 设备的辐射防护	(184)
第六节 电磁辐射防护需关注的问题	(184)
彩图	(187)

第 1 章

绪 论

第一节 人类对电磁辐射的认识

电磁辐射(electromagnetic radiation)是电磁能量以波的形式在空间传播的现象,这种能量由电磁辐射源产生,本质上是由变化的电流产生的。由经典物理学可知,变化的电流附近存在变化的磁场,变化的磁场产生变化的电场,电场又产生磁场,两者循环往复、交替产生,将能量以一定速度向四周传播,在此过程中会产生如水波一样的空间波动,这被形象地称为电磁波(electromagnetic wave)。因此,电磁辐射可认为是“电磁波的产生、发射和传播”,其实质是电磁能量的产生、发射和传输过程,要实现的是电磁能量从空间一点到另一点的“转移”(图 1-1)。从这个角度看,凡是能够产生电磁能量的物体,都有可能成为电磁辐射源。生活中常见的广播、电视和手机通信等,都是电磁辐射的典型例子,其实现原理均是首先将声音、图像等转换为电信号,再由电磁波“携带”往各处接收端,最后在接收端完成逆转换,恢复成声音和图像。

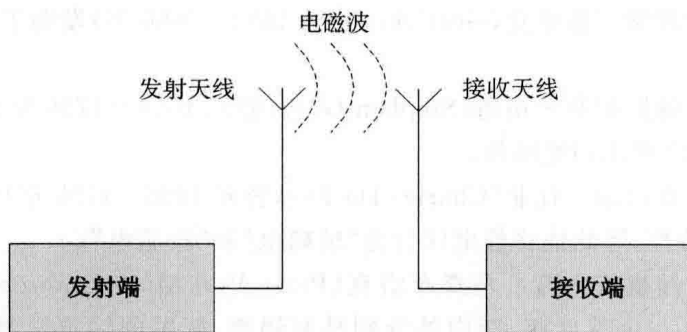


图 1-1 电磁辐射工作示意

虽然今天生活中的电磁辐射已随处可见,但人类对它的认识,却经历了从静磁、电到电流,再到电生磁和磁生电,最后到电磁波的漫长过程。

我国是世界上最早认识并研究磁现象的国家,距今 2500 年前的《管子》一书中记载:“上有慈石者,下有铜金。”这是历史上最早关于“磁”的记录,说明当时人们已经掌握利用磁吸铁的特性寻找并发现铁矿的朴素经验。古人因磁石具有“以为母也,故能引其子”的功能,而称其为“慈石”(ci shi)。后代典籍中关于磁的记录数量众多,如:战国晚期的《吕氏春秋》中,有“慈招铁,或引之也”的记载;汉代《淮南子》中,有“慈石能吸铁,及于铜则不通矣”的记载;南北朝《水

经注》和《三辅黄图》中有阿房宫以磁石为门,“怀刃者止之”的记载;《晋书·马隆传》中,还有马隆利用大量堆积磁石吸住身穿铁甲的敌军,而已方人马身穿犀甲,行动如常,从而获取战争胜利的故事……这些对磁的认识促使了中国古代四大发明之一——指南针的诞生。不过令人遗憾的是,我国古人虽然对磁的认识极为丰富,但对磁的本质却缺乏深入细致的研究,因此凡涉及原因解释之处皆模糊带过。被称为“中国科学史上坐标”的沈括(公元1031—1095年,北宋科学家、改革家)在其著作的《梦溪笔谈》中写道:“磁石之指南,犹柏之指西,莫可原其理”,意思是说磁铁指向南的现象,与柏树总是指西一样让人无法捉摸。

真正对磁现象进行系统研究的是英国伊丽莎白女王的御医威廉·吉尔伯特(William Gilbert,公元1544—1603年),他于1600年完成了经典著作《论磁铁、磁性物体和大磁铁》(简称《论磁》)。吉尔伯特的贡献主要有四点:一是发现了磁体存在南北两极;二是发现了地球也是个大磁体;三是发现了物体充、消磁的方法;四是第一次将电与磁区分开来。

电的发现开启了人类认识电磁的新纪元,此前人们对电一直缺少合理的解释。据说公元前600年左右,古希腊学者泰勒斯(Thales,公元前624—公元前546年)在比较了希腊人用布摩擦琥珀吸引羽毛和用磁铁吸引铁片的现象后,将其解释为:“万物皆有灵,磁吸铁,故磁有灵”,将静电与磁混淆并神化了起来。我国晋朝张华(公元232—300年,西晋文学家)在《博物志》中也有对静电的记载:“今人梳头,解著衣,随梳解结,有光者,亦有咤声”,描述了头发因摩擦起电而发出闪光和噼啪声的画面,但仅停留在对现象的描述,未进行深入分析。

吉尔伯特对静电现象进行了深入研究,他实验了十几种不同的物质,发现它们中的大多数被摩擦后,都同琥珀、玛瑙等类似,可以吸引轻小的物体。他首先指出,这是与磁现象有本质区别的另一类现象,他称之为电力,即静电(static electricity)。

此后直到公元16世纪,静电在历史上鲜有记录。

1660年,德国物理学家盖里克(Guericke,公元1602—1686年)发明了静电起电机,实现了人工取电。

1720年,英国牧师斯蒂芬·格雷(Stephen Gray,公元1666—1736年)发现并研究了电的传导现象,由此区分出导体和绝缘体。

1733年,法国人查尔斯·杜非(Charles Du Fay,公元1698—1739年)发现静电具有“同性相斥、异性相吸”的特性,因此他将静电区分为“玻璃电”和“松脂电”。

1745年,荷兰教授皮特·冯·马森布洛克(Peter Von Musschenbroek,公元1692—1761年)发明了“莱顿瓶”[一个玻璃瓶,瓶内外分别贴有锡箔,瓶里的锡箔通过金属链跟金属棒连接,棒的上端是一个金属球(图1-2)。由于它是在荷兰莱顿城发明的,所以叫作“莱顿瓶”,这就是最初的电容器],为储存电荷找到了途径。“莱顿瓶”是电学实验的重要工具,它的发明意义重大。

1747年,美国科学家本杰明·富兰克林(Benjamin Franklin,公元1706—1790年)首次提出了“正负电”的概念,一直沿用至今。他于1752年在费城进行了著名的“风筝实验”(the kite test)(图1-3),验证了雷电与静电具有相同性质,将“天电”和“地电”统一了起来,并发明了避雷针。

1785年,法国人查理·奥古斯丁·库仑(Charlse Augustin Coulomb,公元1736—1806年)在艾皮努斯(Aepinus Franz Maria Ulrich T H,公元1724—1802年)、富兰克林、约瑟夫·普利斯特里(Joseph Priestley,公元1733—1804年)和约翰·罗比逊(John Robison,公元1739

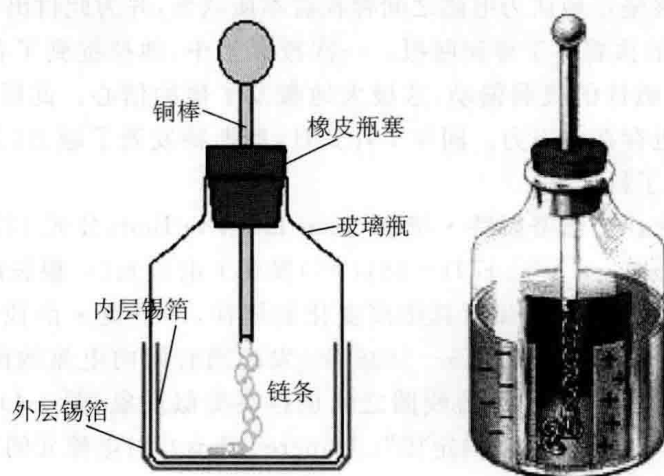


图 1-2 莱顿瓶

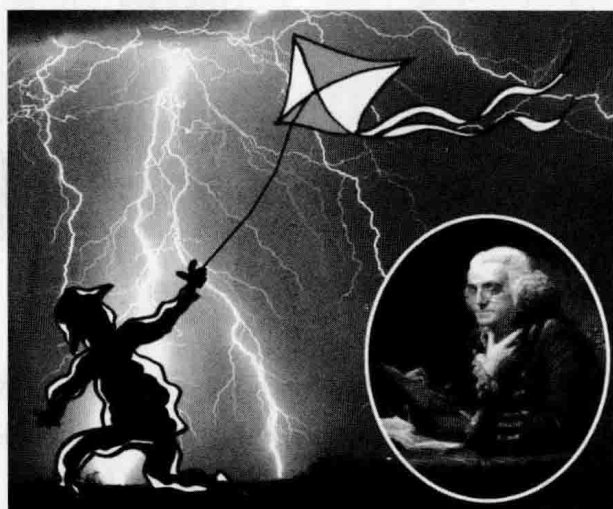


图 1-3 风筝实验

—1805 年)等前人工作的基础上,通过“扭秤实验”和“电摆实验”,精确验证了电荷间的引力和斥力均遵从平方反比定律,即著名的“库仑定律”(Coulomb's law),将电学研究从定性引入定量阶段。后人为了纪念他,将表示电量大小的单位以他的名字命名。

1800 年,意大利物理学家亚历山德罗·朱塞佩·安东尼奥·安娜塔西欧·伏特(Count Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta, 公元 1745—1827 年)发明了蓄电池,使静止的电荷“流动”起来,为产生稳恒电流创造了条件。

自电被认识以后的 200 余年间,电与磁一直保持着界限,各自独立发展。然而,关于它们是否存在联系的争论却始终存在。吉尔伯特和库仑都曾断言,二者之间无因果关系且不能相互转化,当时持此观点的科学家不乏其人。但丹麦物理学家汉斯·奥斯特(Hans Christian Oersted, 公元 1777—1851 年)却不相信这一点,崇尚德国康德“关于基本力向其他种类力学转