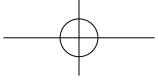
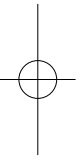
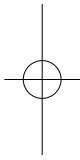
目录

第一章　跨越大西洋 …… 001
第二章　理论引导技术 …… 033
第三章　规则的建立 …… 057
第四章　从海洋到陆地 …… 079
第五章　无形的战场 …… 099
第六章　信息媒介的革命 …… 137
第七章　移动通信时代 …… 159

无线电简史.indd 1　2024/3/13 19:39:59

第一章　跨越大西洋

无线电波首次跨越大西洋成功通信的实验在无线电发展史上是一个重要而传奇的标志性事件。此后，无线电跨洋过海连接世界，成为各国争相发展的技术。这次实验突破了当时的科学认识，引起了深刻的科学探索，并陆续取得了一连串的重大科学收获。我们以此为故事的关键节点，梳理无线电的发展脉络。

1. 时间：平凡冬日的午后

1901 年 12 月 12 日下午，当北大西洋的寒风掠过北美洲东北部纽芬兰岛上居民们的头顶时，人们不会觉察到这个安静的冬日有何异常。在这个平凡的午后，岛上发生了一件科学史上的大事。多年后，这个故事被陆续改编成小说和剧本，出现在图书、舞台、广播、荧屏乃至互联网上，被人们热情地庆祝纪念。客观地说，这件事及由它引发的一连串事件，历经 120 多年直到今天，依然在深刻地改变着世界，影响着我们每一个人。

纽芬兰岛地处两个标准时区之间，比格林尼治时（世界时，

无线电简史.indd 1　2024/3/13 19:39:59

Universal Time）晚三个半小时，比纽约时间早一个半小时。纽芬兰岛沿岸是西北大西洋渔场的中心，这里盛产鳕鱼。从 16 世纪开始，岛上的渔民把捕获来的大量鳕鱼晾成鱼干运往欧洲，这种耐保存又便宜的高蛋白食品逐渐成为纽芬兰与欧洲贸易中最重要的商品。

纽芬兰与欧洲的联系不只是鳕鱼。纽芬兰岛面向大西洋，与爱尔兰隔洋相望。岛上最大的城市圣约翰斯（St. John's）处于北大西洋航路要冲，是北美洲最东端的城市，也是从欧洲渡洋而来踏访北美大陆的首站，英法两国为争夺北美殖民地曾在此进行过激烈斗争。自 1583 年开始，纽芬兰成为英国的殖民地，期间曾被英国与法国交替占领。随着大英帝国殖民地制度的衰落，纽芬兰 1907 年成为自治领。1949 年纽芬兰放弃自治加入了加拿大。

2. 地点：开阔的战略要地

在圣约翰斯市郊东北部港湾入口处有一处临海高地，站在这里迎着大西洋的烈风可俯瞰这座城市的全貌。这处依城望海的战略要地，见证了两件改变世界的重大事件。第一件发生在 1762 年，威廉·阿姆赫斯特（William Amherst）将军率领的英军在这里战胜了法军，结束了历时 7 年的英法战争。这次战役使英国赢得了最终胜利，决定了纽芬兰的命运走向，确立了英国在北美的统治地位。从此，英国成为了海外殖民地霸主，迈向“日不落帝国”的传奇。由于此地登高望远，战时用来观察敌情并传递信息，威廉将军将这里命名为信号山（Signal Hill）。

无线电简史.indd 2 2024/3/13 19:39:59

在英法战争结束 135 年后，为了纪念维多利亚女王（Alexandrina Victoria，1837 年—1901 年在位）即位 60 周年及约翰·卡伯特（John Cabot，意大利航海家，1497 年受英王亨利七世委托出海航行发现北美大陆）航海至此 400 周年，信号山上建起了一座石塔，名为卡伯特塔（Cabot Tower）。建成 100 多年来，这座石塔成为了圣约翰斯的著名历史古迹和城市地标。在信号山上发生的第二件改变世界的事件，也在这里被隆重纪念。如今，这座石塔的二楼是此故事的展览馆，一楼则是旅游纪念品商店。



如今圣约翰斯信号山上的卡伯特塔

无线电简史.indd 3　　2024/3/13 19:39:59

故事的落脚点选在此地，以及主人公在这里登场，不仅因为这里是著名的历史遗址，是北美洲距欧洲大陆的最近点，或许还与“信号山”的名字有关。

3. 人物：到英国发展的意大利青年

本章故事的主角伽利尔摩·马可尼（Guglielmo Marconi，1874 年—1937 年）出生于意大利博洛尼亚一个富有的家庭。他母亲是爱尔兰人，其詹姆森家族在爱尔兰以经营威士忌和谷物著称。

德国物理学家赫兹在 1886 年至 1889 年间用实验证实了电磁波的存在。他利用感应线圈振荡放电，通过金属线圈在金属装置的间隙产生火花，同时他在房间内另一个相似的金属装置的间隙发现了感应而来的电火花。赫兹发现的电磁波点燃了年轻的马可尼为之奋斗一生的梦想。1894 年，马可尼开始在家中的阁楼里做起了实验，利用无线电波实现了电报的发送与接收，并逐渐把收发距离扩大。

当时马可尼的设备基本上和赫兹的实验装置相似，叫作火花式发报机。它利用一个带有铁芯的线圈产生高频交流电，然后通过一个金属间隙放电，从而产生电磁波，这种电磁波就是无线电波。无线电波和红外线、可见光、紫外线、X 射线及 γ 射线（伽马射线）一样，都是电磁波大家庭中的成员。

高压变压器将电源提供的低电压升高到几千伏，以驱动线圈产生高频交流电。线圈中带有铁芯，可以增强电磁场的强度。间隙是指两个金属接触面之间的空气间隔，当电压达到一定值时会在间隙产生放

无线电简史.indd 4 2024/3/13 19:39:59

电现象，从而产生无线电波。电源则提供电能，驱动火花式发报机工作。当时城市供电网刚起步，电源主要是利用铅酸蓄电池把化学能转为电能输出。火花式发报机由于存在频率不稳定、噪声干扰大等缺陷，早已被后来新型的无线电设备所取代，但它仍具有重要的历史意义。

为了融资并推广自己的无线电报系统，1896 年 2 月，他随母亲来到英国发展。这位当时不足 22 岁的意大利小伙子在家族的支持下，开始在伦敦这座当时世界上最国际化的城市推进自己的目标。他不断在电气、通信工程技术领域广为交游，为自己积累业界声望，丰满羽翼。

马可尼的表兄（比他年长 20 岁）亨利·詹姆森·戴维斯（Henry Jameson Davis）是一位身出名门的爱尔兰铣床工程师，已在伦敦经营多年，具有金融和专利权方面的独到经验。马可尼刚到伦敦，戴维斯就安排他会见了英国顶尖的专利代理机构卡普梅尔公司（Carpmael Company），开始着手申报和保护相关专利，为公司日后应对复杂的专利竞争和诉讼事务打下基础。

1896 年 3 月 5 日，马可尼到达英国仅 1 个月就向专利局提交了一份临时专利说明书。按照当时英国的专利制度，这种临时的说明书不但主张权利，还起到抢先占位的作用，申请人可以在提交后的 9 个月内对自己的发明进行完善。如果有其他相同的声明参与专利竞争，首次填写申请的日期则至关重要。在高人们的指点下，马可尼抢跑成功，赢得先机。

随后，在一名电气工程师的引荐下，马可尼拜访了 62 岁的英国邮政总局总工程师威廉·普利斯（William Preece）。他是英国公众通

无线电简史.indd 5　　2024/3/13 19:39:59

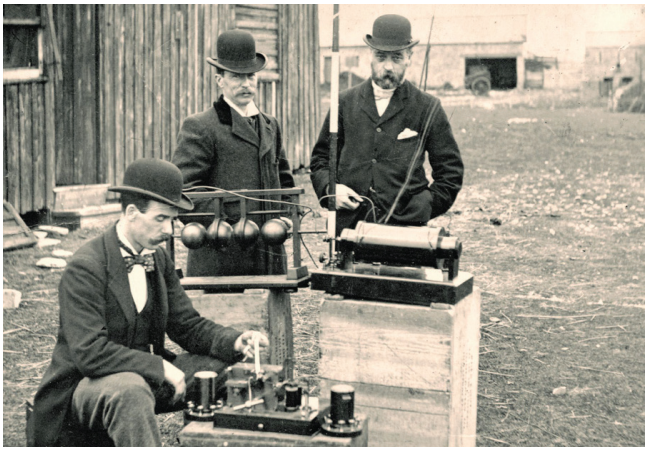
信领域的资深权威人士，也是著名的公众人物。出于对无线电通信的兴趣及对马可尼的喜爱和欣赏，他为马可尼的实验提供了场地和人手，但并没有提供资金支持。普利斯组织无线电实验向各界权威人士展示，通过观看演示，英国皇家海军一位名叫亨利·布拉德瓦·杰克逊（Henry Bradwardine Jackson，1855 年—1929 年）的高级军官成了马可尼的支持者。此人日后推动了实用化舰对舰无线电通信系统的部署，成为世界上最早把无线电装备在军舰上的军官之一。

到访英国 16 个月后，1897 年 6 月 28 日，马可尼回到罗马。7 月 2 日，他为意大利海军部演示了无线电通信。7 月 6 日，他在奎里纳尔宫（Quirinal Palace）为意大利国王和王后演示了自己的发明。这次行程奠定了马可尼与意大利官方之间毕生的联系。意大利成为第一个采纳马可尼设备的国家，成为他公司第一个客户。

4. 基础：电波不断向远方延伸

1897 年 5 月 13 日，马可尼在英格兰西南部和威尔士南部之间的布里斯托尔海峡（Bristol Channel），利用海边悬崖增加收发天线的高度，使无线电通信距离超过 19km，创造了当时最远的海面无线电通信纪录。这次测试的见证者除了英国邮政总局的工程师，还有普利斯邀请到的德意志皇帝威廉二世的科学顾问阿道夫·斯拉比（1849 年—1913 年，斯拉比与其学生阿尔科（1869 年—1940 年）是德国 AEG 公司创始人）。之后，普利斯在皇家科学院（Royal Institution，1897 年 6 月 4 日）和英国皇家学会（The Royal Society，1897 年

无线电简史.indd 6 2024/3/13 19:39:59



1897 年 5 月 13 日，英国布里斯托尔港附近的 Flat Holm 岛，
英国邮政总局的工程师在无线电通信测试中查看马可尼的无线电设备

6 月 16 日）的高规格讲座上公开宣传马可尼的成果。

1897 年 7 月 2 日，马可尼在提交完整的专利书 4 个月后，获得了英国的专利权。1898 年 6 月，马可尼获得了首个调谐电路的专利，后来又在 1899 年和 1900 年获得了第二、第三个专利。他于 1900 年 4 月 26 日提交的“主专利权”的临时说明书有一个非常好记的编号“7777”。这个著名的“四七”专利使无线电技术得以与有线电报竞争，它的有效性最终获得了英国、美国和法国法院的认可。

5. 突破：跨越英吉利海峡

1899 年 3 月 27 日，马可尼不负众望，成功让无线电信号跨越了 50km 的英吉利海峡，从法国北部的维姆勒（Wimereux）向英国的南福尔兰角灯塔（South Foreland Lighthouse）发送了一条消息。

无线电简史.indd 7　　2024/3/13 19:40:00

消息的内容是向法国物理学家爱德华·布朗利(Braolley Edouard，1844 年—1940 年)先生致敬。这也是无线电信号的首次国际传输。

在无线电技术起初的10年间，最重要的新发明是信号接收端的“检波器”取代了赫兹实验用的“共鸣器”（第二章将详细讲述赫兹实验内容），而信号的发射端在原理上并没有什么重大突破。布朗利发明了带有小铁锤并装有金属屑的玻璃管检波器，被称作布朗利管。

当时马可尼的无线电接收机由继电器、布朗利管、莫尔斯电码（Morse Code）接收机和电源组成。它的工作原理是这样的：当电波到达布朗利管后，就会使粉屑管的电阻减小，一组电路闭合，继电器内的电磁铁就会吸引铁片，从而使另一组电路闭合，莫尔斯电码接收机就会印出莫尔斯电码了。同时，电磁铁会吸引小锤敲击粉屑管，使管内已经聚集的粉屑疏松开来，等待接收下一个信号。发射机压键时间的长短决定接收机印的是“点”，还是“划”，点和划组合在一起就是莫尔斯电码。

值得一提的是，当时清政府驻英公使馆参赞张德彝也就此次跨洋无线电通信留下了记录。19 世纪 60 年代到 80 年代，清政府一直抵触引进有线电报，但后来对无线电报的反应却很积极。1899 年年初，清政府购买了几部马可尼火花式无线电报机，安装在广州两广总督署和马口、威远等要塞及南洋舰队各舰艇上，供远程军事指挥之用。所以，中国的无线电报的最早应用几乎与欧美同步。

无线电简史.indd 8 2024/3/13 19:40:00

6. 公司的成立和运营

1897 年 7 月 20 日，在戴维斯的全面帮助和参与下，英国首家专门制造无线电器材的公司——马可尼无线电报与信号公司成立了。马可尼将自己的专利权转让给公司，并得到 15000 英镑的现金及 60% 的股份（公司共 10 万股，马可尼拥有 6 万股，每股面值 1 英镑）。戴维斯担任了公司的首任总经理，并成为占股仅次于马可尼的第二大股东。11 月，41 岁的乔治·坎普（George Kemp，1857 年—1932 年）辞去邮政总局的工作加入马可尼无线电报与信号公司。坎普是少数几个可以随时见到马可尼并表达自己想法的人，他直至 75 岁去世前，一直在这个公司工作。



这是第一部关于无线电的无声电影中的场景。乔治·坎普（右）手放在火花隙发射器旁边的“蚱蜢”电键上。马可尼（左）正在读取莫尔斯电码寄存器（打印机）纸带上的记录（Biograph Company, 1902）

无线电简史.indd 9　　2024/3/13 19:40:00

1900 年，由国际资本组成的两家以马可尼命名的公司在营业：一个是马可尼无线电报与信号公司，另一个是马可尼国际海洋通信公司。当时新兴的工业体系已经建立起来，刚好有足够的客户来维持无线网络的运行。其中最大的订单来自于英国皇家海军，马可尼为 28 艘军舰和 4 个陆上通信站安装了无线电设备。

7. 丰富的美国之行

1899 年 9 月，马可尼受邀到美国用他的无线电系统报道美洲杯帆船赛，把比赛现场的消息传送给《纽约先驱报》的记者。这是无线电第一次被运用到体育赛事的尝试。这次美国之行，他见到两个重要的人物。

第一位是当时华尔街很有权势的人，约翰·皮尔庞特·摩根（John Pierpont Morgan，1837 年—1913 年）。作为一名狂热的帆船运动爱好者，摩根在这次帆船赛期间开始了解无线技术。他当时是纽约帆船俱乐部的会长，也是卫冕帆船“哥伦比亚号”的首席赞助人。比赛之前，摩根伦敦分公司的代表接触了马可尼公司的董事，提出以 20 万英镑购买马可尼的美国专利，但双方没有谈拢。后来摩根公司投资了马可尼的竞争对手尼古拉·特斯拉（Nikola Tesla，1856 年—1943 年，塞尔维亚裔美籍发明家、电气工程师）。

第二位是当时名不见经传，但日后对无线电技术做出巨大贡献的李·德·福雷斯特（Lee de Forest，1873 年—1961 年，美国发明家，真空三极管之父）。福雷斯特本来是特斯拉的超级粉丝，想追随特斯

无线电简史.indd 10 2024/3/13 19:40:00

拉工作，但被拒绝了。帆船赛这一天，福雷斯特早早地来到现场进行观摩。无线电演示结束后，他从人群中挤到发报机前，看到一个装着银灰色粉末的玻璃管（布朗利管）。他问马可尼，这应该就是金属屑检波器吧？马可尼点点头。这位谦虚的耶鲁大学博士向马可尼介绍自己是个业余无线电爱好者。马可尼机敏地说：“我也是一个业余无线电爱好者。”马可尼告诉他，要提高接收机灵敏度的关键难题就是这个玻璃管检波器。马可尼的话给福雷斯特留下了深刻的印象，从此他下决心从事检波器的研究。

8. 尴尬的经营处境

马可尼公司的业务看起来发展很快，但事实上，公司依然没有实现大规模盈利。叫好不叫座的原因主要归于当时通信行业的经营环境。英国邮政总局是帮助马可尼起步的贵人，但在一定程度上也是他公司的竞争对手。

虽然起初的无线电通信实验都是在陆地上开展的，但无线电技术的商业化运作却是从海上开始的。岸与船之间，船与船之间的即时通信需求使新兴的无线电技术有了用武之地。这并不意味着陆地上的通信不需要无线电，而是因为在当时有线电报业务已经占据了陆地上的通信经营许可权，不允许无线电报抢有线电报的饭碗。

英国邮政总局出于对电报业的垄断，不仅阻断了马可尼公司在英格兰沿海区域建成的无线电站点与内陆通信站的通联，也阻止这些沿海无线电站点间彼此联系。出于商业利益的考量，邮政总局只允许无

无线电简史.indd 11　2024/3/13 19:40:00

线电报公司与 3 海里（约为 5.6km）外的轮船联系。

注：3 海里源于中世纪欧洲的领海规定。3 海里约为当时一个大炮的射程，因此被认为是一个国家对其海岸线实际控制力所及之区域。这个规定从 17 世纪中期开始被广泛接受，18 世纪被纳入多个国际公约。后来，随着海洋资源的开发和利用不断升级，许多国家开始主张扩大领海范围。1982 年，《联合国海洋法公约》（UNCLOS）规定沿海国的领海范围应不超过 12 海里（约为 22.2km），并沿用至今。

1898 年 1 月，一个意外事件给了马可尼向公众展示无线电报的机会。英国前首相威廉·尤尔特·格莱斯顿（William Ewart Gladstone，1809 年—1898 年）前往伯恩茅斯（Bournemouth，位于英格兰西南部）治病，一群报社记者追随前往。但一场暴雪压垮了电报线路，于是马可尼临时架起了从伯恩茅斯到尼尔德斯（Needles）的无线电报收发站点，把消息传到有线电报站点，使关于格莱斯顿健康的报道及时传到伦敦。媒体顺便对马可尼进行了正面宣传。领略到媒体的力量之后，他开始有意识地结交报社的朋友。这条线路也为随后发生的一个标志性事件打下了基础。

1898 年 6 月，英国著名的科学家开尔文男爵——威廉·汤姆森（William Thomson，1824 年—1907 年，跨大西洋电缆工程的总工程师）亲自到访尼尔德斯，他通过无线电报经由伯恩茅斯向格拉斯哥（Glasgow，苏格兰最大的城市）的同事送去问候。他对此深受感动，坚持要为这项服务象征性地付费 1 先令（20 先令等于 1 英镑）。马可尼受宠若惊，得以一直对外宣称：1898 年 6 月 3 日，他从尼尔德斯酒

无线电简史.indd 12 2024/3/13 19:40:00

店向伯恩茅斯发送了世界上第一份付费无线电报。开尔文这次善意的（撑腰式的）举动无意间挑战了邮政总局对内陆电报业务的垄断权，但对马可尼公司的业务来说仅具有象征意义而无实质作用。

1901 年，英国老牌的财团劳埃德（Lloyd's）公司眼光独到，率先与马可尼国际海洋通信公司全面签署合作协议，在海上发展商业无线电报系统。无线电报开始在海上传递商业信息，让商船之间及商船与海岸之间的即时通信成为现实。

截至 1901 年，马可尼公司已在英格兰和爱尔兰建成 8 个站点，负责英国政府的 32 艘船和通信站之间的通信运行。公司在法国、比利时和德国也设有通信站，并且数家私营轮船公司，以及比利时、意大利海军的舰船上都有马可尼公司的设备在运行。公司也把触角延伸至英属北美地区和英属哥伦比亚的业务。在美国，马可尼公司忙于 1901 年美洲杯帆船赛的新闻报道，运营波士顿和纽约之间往来船只的通信；一家印度公司正积极申请成为马可尼公司的代理；公司与劳埃德公司商讨在苏伊士运河（Suez Canal）上建造两个通信站点……马可尼的公司几乎成为当时世界上发展最快的通信公司了。

但这些业务收入无法支撑马可尼公司高额的建站布点费用和日常运营的支出，陷入窘境的马可尼必须寻求更大的突破来为公司的发展创造机会。他选定了一个人们不敢想象的，足以令全世界瞩目和震惊的目标。

9. 媒体关注的明星

1897 年 7 月，马可尼在意大利期间，英国新闻界对他的热捧达到

无线电简史.indd 13　　2024/3/13 19:40:00

新的高度。《电气评论》《每日纪事报》《环球报》《早报》《每日邮报》都在热情地赞颂这位年轻的意大利天才工程师。新兴而时髦的无线电技术毫无疑问成为了当时最高科技、最具想象力的代表。在社会精英们的关注下，金融市场的资金开始涌向马可尼公司的股票。不仅限于英国，马可尼也成了各国媒体争相报道的对象，他已经成为一个耀眼十足的国际明星。



马可尼早期被各大媒体广泛传播的工作照片

风华正茂的马可尼对已取得的成就和个人影响力并不满足，为了公司的盈利和长足发展，他在谋划一件石破天惊的大事。1901 年 6 月，公司在爱尔兰最南端的港口西科克郡（West Cork）的克鲁克黑文（Crookhaven）新建了一座通信站。10 月，信号从英格兰西南部康沃尔郡（Cornwall）的波尔杜站（Poldhu）跨越约 360km 的海峡成功传到了爱尔兰南端的克鲁克黑文站。又一次刷新了纪录！马可尼由此相信自己已为那件“大事”做好了准备。

当《纽约先驱报》的记者听闻马可尼计划前往纽芬兰用气球进行

无线电简史.indd 14 2024/3/13 19:40:01

实验时，坊间出现了一些猜测。作为重点关注对象，不管马可尼说什么，媒体都会报道。他故意放出消息说这是计划与距纽芬兰雷斯海角（Cape Race）483km 的一处大浅滩上的捕渔船进行通信，这确实已经具有很强的新闻性，足够媒体们兴奋了。他还告诉《利物浦商报》："为了帮助即将入港的船舶更快地与大陆建立联系，公司将沿着纽芬兰南岸建立通信站。"这的确不算假话（马可尼公司于 1904 年在雷斯海角建成了无线电报站，这座通信站在 1912 年泰坦尼克号沉没后的新闻报道中发挥了重要作用），但这绝对不是他当时的真实目标。

10. 目标：横跨大西洋

所有的准备工作都是小心谨慎、秘而不宣的，马可尼不想让此次的风险和可能的失败破坏他在业界和资本界积累的声誉。从 1901 年开始，马可尼下定决心把大多数的精力和公司可以动用的全部资金 5 万英镑（这是公司成立最初 4 年的专利费收益总额的 4 倍）投入跨大西洋无线电通信的事业中。

他做通董事会的工作，以 500 英镑的高额年薪（和马可尼的年薪一样，相当于今天的 4 万英镑）聘请了伦敦大学著名的电气工程教授约翰·安布罗斯·弗莱明（John Ambrose Fleming，1849 年—1945 年）作为公司的科学顾问，在英格兰西南部康沃尔郡（Cornwall）的波尔杜（Poldhu）酒店旁边建设通信站，在那里设计和测试发射跨越大西洋信号的设备。马克尼还额外允诺：如果信号成功穿越大西洋，除了公司给的固定年薪，自己还将向弗莱明转让 500 股马可尼公司的

无线电简史.indd 15　　2024/3/13 19:40:01

股份。附加条件是：“如果成功跨越大西洋，主要荣誉将会并且必须永远属于马可尼。”

马可尼坚信无线电波绝对有可能穿越大西洋，但是他不知道如何在工程上实现，弗莱明能找到实施的办法。马可尼是公司最大的资产，也是公司的招牌。只有像马可尼公司这样的组织，才能支持这样的冒险行为。历史学家们一致认为这件事取得成功，弗莱明起到了决定性的技术支撑作用，然而主要荣誉永远是马可尼的。

与弗莱明的关系很好地证明了马可尼知人善任的天赋。弗莱明一直为公司效力到 1931 年，他将自己在提升无线电报技术方面的所有专利权送给公司，其中最重要的是他于 1904 年发明的真空管，它奠定了无线广播的基础（详见第六章内容）。

马可尼忠诚的助手乔治·坎普负责在建筑周围竖起一系列木制桅杆，以承载一个巨大的蜘蛛网状的天线，还雇用了不少当地人和马匹来干力气活。弗莱明设计了一个带有 25kW 交流发电机、20kV 变压器和高压电容器组成的发射器，能够产生约 2.5cm 长的火花，这已经相当强悍了。发电机组和发射器的功率，应该是当时的世界之最了，这套电台的发射指标远超其他设备。

11. 启程：面对挫折选择坚持

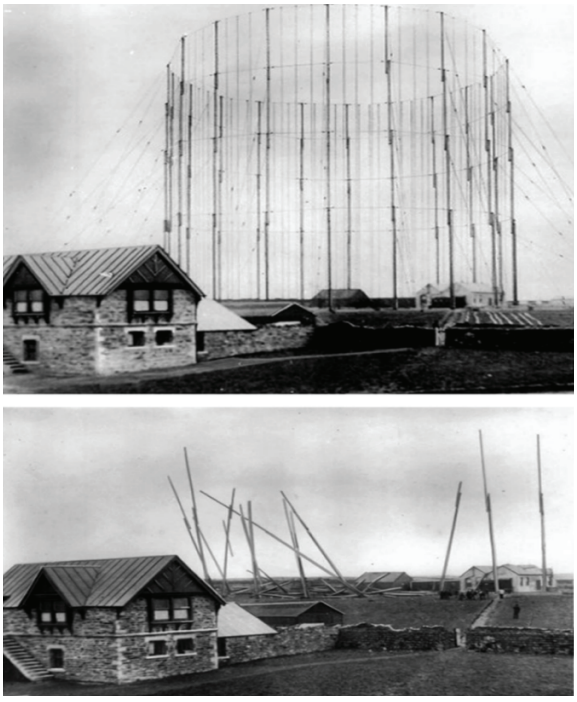
1901 年 9 月 17 日，波尔杜通信站遭遇了严重的暴风雨袭击，20 根 61m 高的桅杆整体倒下，严重破坏了发射系统的天线。为了不影响计划实施，马可尼决定临时树立起两根 49m 高的桅杆来支撑天线。

无线电简史.indd 16 2024/3/13 19:40:01

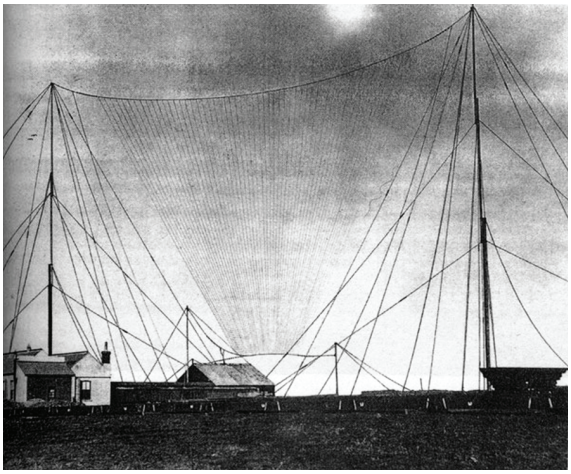
在大西洋对岸的纽芬兰，经过多次勘察选址并综合各种考量，马可尼决定暂时不在雷斯海角正式建站，而是用风筝或气球取代固定的桅杆，临时搭建一套接收装置。仅是实验不是商业运营就不会违反当地的法规了。

注：之所以在1904年才建设雷斯海角无线电通信站，主要是因为之前铺设大西洋电报电缆的大西洋电报公司在纽芬兰享有1854年至1904年共50年的电报通信垄断特权。

11月22日，马可尼给波尔杜通信站下达了发射信号的操作指令：当收到公司伦敦办公室发来的电报后，在格林尼治时的下午3时至6时，持



波尔杜通信站的桅杆被风吹倒前后的对照



波尔杜通信站受损后临时搭建的天线

无线电简史.indd 17　　2024/3/13 19:40:01

续发送简单的莫尔斯电码“S”，即“· · ·”。每天（周日除外）执行这样相同的程序，直到收到停止的通知。

1901 年 11 月 26 日，马可尼带着坎普和另一位助理佩吉特（P.W.Paget），还有两吨重的铁制调谐设备和几大缸硫酸，搭乘艾伦公司（Allan）的迦太基号（Carthaginian）从利物浦港驶向纽芬兰的圣约翰斯港。

12. 禁锢：这不符合常理

在此次横穿北大西洋的航海旅途中，马可尼肯定心怀忐忑。当时绝大多数的理论物理学家认为跨越大西洋传送无线电信号是不可能实现的。大家认为电波像光一样沿直线向外辐射，不会绕着地球的曲率行进。即便信号再强，发射出去的电磁波也会沿着地球的切线射向宇宙，而不会落到数千米之外。

技术专家总是重点考虑科学发现的实际功用，科学家则专注于自然奥秘本身，而对其功用不太感兴趣。就连赫兹本人在完成著名的电磁波验证实验后，也认为这并没有什么实际用途。1889 年年底，德国一位电学技术专家和工程师霍布尔（Huber）给赫兹的信中提到了用电磁波（当时称作“赫兹波”）进行通信的设想。可赫兹的回信让他大失所望，赫兹认为如果要用电磁波进行远距离通信，起码得有一面像欧洲大陆那么大的巨型凹面反射镜才行，而且还要把它挂到很高的地方。这个答复实际上否定了霍布尔的设想。赫兹的答复是经过计算的，这面大镜子是考虑到当时人工所能生成的电磁波的波长。据换

无线电简史.indd 18 2024/3/13 19:40:01

算，赫兹实验所产生的电磁波的频率应为 60~500MHz，相应波长为 60cm~5m。

今天，我们不能嘲笑任何人，以当时的认知水平和理论高度，人们确实无法正确判断这一点。比起科学家思维，马可尼更具备的是企业家思维，让他愿意相信电磁波会围绕地球曲率传播，一意孤行进行跨大西洋无线电通信疯狂实验的，终究是这件事背后的巨大商业价值！或许马可尼的真正老师是历经挫折铺设跨大西洋电报电缆的美国企业家塞勒斯·韦斯特·菲尔德（Cyrus West Field，1819 年—1892 年）。

13. 动因：巨大商业价值的吸引

19 世纪中后期，随着大英帝国鼎盛的维多利亚女王时代落幕，美洲大陆开始崛起，世界中心开始从英国向美国转移。从英法等欧洲各国到北美大陆的商船频繁往返于大西洋东西两岸之间。当时的轮船在大西洋东西两岸的单程航行需要 10 天左右，两岸及时通信十分必要，跨大西洋通信业务商机巨大。

不论是 19 世纪 60 年代的大西洋电缆电报，还是 20 世纪 90 年代的互联网，抑或是今天的人工智能对话工具 ChatGPT，任何新技术从理论基础、实验成功、工程应用，到最终取得商业价值都需要经过人们的摸索和努力。

1854 年 1 月，加拿大工程师弗雷德里克·牛顿·吉斯本（Frederick Newton Gisborne）与美国大富豪菲尔德取得联系，提议在纽芬兰岛圣约翰斯和纽约之间建立一条电报线路。同年晚些时候，他与彼得·库

无线电简史.indd 19　　2024/3/13 19:40:01

珀（Peter Cooper）、亚伯兰·史蒂文斯·休伊特（Abram Stevens Hewitt）、摩西·泰勒（Moses Taylor）和塞缪尔·莫尔斯（Samuel F.B. Morse）一道，加入了由企业家、投资者和工程师组成的所谓“电缆内阁”(Cable Cabinet)。第二年，这些投资者成立了美国电报公司（American Telegraph Company），并开始收购其他公司进行整合。

1857 年，菲尔德组建的大西洋电报公司（Atlantic Telegraph Company）在英国获得融资并得到美英两国政府的支持后，开始铺设第一条横跨大西洋的电报电缆。电缆两端的爱尔兰和纽芬兰相隔约3200km，是欧美大陆的最短距离，这之间有一个浅层海底平台利于铺设电缆。工程先失败了两次，电缆在船只运输途中突然断裂而丢失。1858 年 8 月 4 日，第三次尝试终于成功。



1895 年 5 月，美国著名肖像画家丹尼尔·亨廷顿（Daniel Huntington）为纽约州商会绘制的作品《大西洋电缆的计划者》（右二为 Cyrus West Field）。纽约州立博物馆收藏，画布尺寸为 87 英寸 ×108.25 英寸（约为 2.21m×2.75m）

1858 年 8 月 16 日，维多利亚女王用莫尔斯电码向美国总统发送了一条信息，尽管速度很慢——99 个词的贺电发了 16.5 小时——但这一成功让纽约人全城欢

无线电简史.indd 20 2024/3/13 19:40:02

庆。虽然人们对这一壮举欢呼雀跃，但电缆本身却很脆弱：它的信号日渐微弱，以致完全中断，在 3 个星期后就坏了。为此，菲尔德一夜之间从“英雄”沦为“骗子”，还差点破产。



1858 年、1865 年和 1866 年大西洋电缆的制造商样品照片。后期的电缆较早期电缆更粗一些

由 7 名科学家组成的“调查委员会”后来得出的结论为，3200km 电缆的巨大阻抗使莫尔斯电码在发送信号中严重衰减和延迟，于是首席电学专家查尔斯·惠斯通（Charles Wheatstone，1802 年—1875 年）决定提高电压到 2000V 以上，结果击穿了电缆绝缘层。

1866 年，菲尔德使用改装为布缆船的大东方号（The Great Eastern，是当时世界上最大的远洋轮船）铺设了一条新的、更耐用的跨大西洋电缆，这次铺设也经历了一次电缆断裂事故，第二次架设才成功完成了从爱尔兰瓦伦提亚（Valentia）到纽芬兰哈茨康坦特（Heart’s Content）的电缆铺设。

威廉·汤姆森应邀作为总工程师，主持此次海底电缆铺设工程。他为此发明的镜式检流计能通过导线上小镜片的光学放大功能，读出衰减为 1/1000 的信号，解决了先前电缆中信号严重衰减的问题。新

无线电简史.indd 21　2024/3/13 19:40:02

电缆几乎实现了跨越大西洋的即时通信。后来随着一年前丢失的电缆被捞起，大西洋电缆成为双线，传输速度比 1858 年时快 50 倍。由于铺设大西洋海底电缆有功，英国政府于 1866 年封威廉·汤姆森为爵士。1892 年，为表彰他在电缆工程和电报技术方面的卓越成就和科学贡献，维多利亚女王亲自加冕他为第一代开尔文男爵（First Baron Kelvin），即开尔文勋爵（Lord Kelvin）。

1867 年，美国国会为菲尔德颁发了金牌，巴黎举行的国际博览会授予了他特等奖，以表彰他对铺设跨大西洋电缆的贡献。海底电缆让通信更快，使世界变得更小。到 19 世纪末，英国、法国、德国和美国拥有的电缆就已经将欧洲和北美用电报通信网络连接起来了。

14. 价值：跨大西洋电缆电报的天价资费

商业服务开通伊始，跨洋电报的通信资费极其昂贵。公司规定每条电报至少 10 个单词，每个单词 10 美元。在当时，10 美元是一名技术工人一星期的报酬，一条电报 100 美元起的费用是大多数人难以承受的，仅有大公司和富豪才用得起这种通信方式。大西洋电报公司 1867 年 7 月 28 日至 10 月 31 日期间的记录显示，公司 3 个月共发送了 2772 条商业电报，平均每天收入 2500 美元。而这样的业务量仅占用了 5% 的电缆通信能力。因此，公司决定薄利多销，将费用减半，一条 10 个单词的电报收费降至 46.80 美元，于是业务量迅速增多，公司收入立即增至平均每天 2800 美元。

无线电简史.indd 22 2024/3/13 19:40:02

注：作者根据同时期英美两国货币的黄金兑换率，计算出 19 世纪末期两国的汇率大致是 1 英镑兑换 4.9 美元。

巨额利润使更多资本流入，市场竞争也开始出现。1869 年法国成立了一家新的电报公司，铺设了一条从法国布雷斯特到纽芬兰南部圣皮埃尔，然后到马萨诸塞的跨洋电缆。

随着电缆数量的增加，人们不断开发新技术来降低费用，发送电报的费用也不断下降。例如，1870 年《纽约论坛报》记者霍勒斯·格里利仅仅花费 5000 美元就发送了一条关于普法战争的报道。由于各大报纸间的激烈竞争，报社不得不耗费巨资满足美国公众对于大洋彼岸即时信息的需求。

到 1870 年，华尔街每年都要耗费 100 万美元的电报费用，因为能否及时了解伦敦的市场行情会导致盈利或亏损。伦敦的经纪人们每年在电报上的花费也大致相当。在世界各地出现了越来越多的电缆，以满足人们日益增长的需求。短短几年间，大东方号铺设了 5 条跨大西洋电缆，到 1900 年，数目已经上升到了 15 条，其中一条电缆通向巴西和阿根廷。

15. 成功：无线电波跨越了大西洋

如果科学和技术进步有明确的方向，那它肯定是以人们的愿望为指引。而人们的愿望，往往要依靠能整合更多资源的企业家们来实现。

在寒冷的大西洋艰苦航行 10 天之后，1901 年 12 月 6 日（周五）上午，马可尼抵达了纽芬兰圣约翰斯港，他们从谢伊码头上岸。尽管

无线电简史.indd 23　　2024/3/13 19:40:02

当时纽芬兰政府内正在为是否成为加拿大的一部分而展开激烈争论，政府官员们还是在马可尼抵达的当晚组织了欢迎聚会。



马可尼（中）、坎普（左）、佩吉特（右）三人在纽芬兰圣约翰斯信号山上的合影。三人身后的大型六边形风筝是从英国带来的“巴登－鲍威尔－莱维特”风筝（Baden Powell Levitor Kite）。它携带天线升空约 150m，为接收跨大西洋无线电信号立下功劳（摄影：詹姆斯·维（James Vey））

第二天一早，他们就将所有仪器和设备搬到信号山上。在卡伯特塔旁边有一处营房，是废弃的白喉病医院旧址。营房的位置很好，内部有足够的空间放设备，营房外的空间也很开阔，适合气球和风筝升空。

12 月 9 日和 10 日（周一和周二），马可尼和他的两位助手进行了准备，安装测试了临时的简易气球天线装置和他们从英国买来的风筝。11 日，他们进行首次实验，当气球升至 3.9m 时，被强烈的西北

无线电简史.indd 24 2024/3/13 19:40:02

风吹跑了，4 根铜线也一起被吹走了。于是 12 日，他们改放风筝，先放出两根带有 155m 长电线的风筝，然后又放出另一根带有 152m 长电线的风筝，3 小时后信号变好。

为了这个至关重要的时刻，马可尼用的是改版后的贝尔电话接收器。他希望这能比自己通常使用的莫尔斯电码印码机更灵敏可靠。现场只有马可尼和坎普（当时第二助理佩吉特因为生病不在场）二人，当他俩在强风中听到间隔的莫尔斯电码“滴、滴、滴……”之时，兴奋和喜悦之余还不敢轻易相信这是真的：从波尔杜发出的无线电波沉稳地围绕着地球曲率行进了约 3200km，越过大西洋来到了圣约翰斯的信号山上！

这次信号传输的距离是之前通信纪录的近 10 倍，证实了马可尼所坚信的“无论距离多远，无线电通信都是没有限制的”想法是对的。他们没有立即宣布这个消息，而是决定尝试传送更多、更清晰的信号。但之后天气状况变得更糟，他们没有再收到过任何来自波尔杜的信号。

马可尼不能贸然向外界公开消息，因为这个爆炸性的新闻必然会影响公司的股票价格。早在 1898 年，马可尼跨海无线电通信实验成功的新闻，就使经营跨大西洋电缆电报公司的股价大跌过。有趣的是，在发布消息前马可尼依然只能通过跨大西洋电缆向远在伦敦的公司总部报告情况，公司得以有机会在新闻发布前注入更多股票筹码，这种操作在当时的英国是合法的。

无线电简史.indd 25　2024/3/13 19:40:02



1901 年 12 月 17 日，跨大西洋无线电通信实验成功后，由媒体主持的现场“情景再现”（左一为马可尼，三人之外的两人为当地雇工）。这张摆拍的照片被广为传播（摄影：詹姆斯·维（James Vey））

经过与公司伦敦总部沟通后，马可尼在 12 月 14 日向新闻界和意大利政府宣布了消息。整个圣约翰斯沉浸在巨大的兴奋之中，紧接着是新闻媒体的狂乱，全世界的报纸都在附和《纽约时报》的言论“马可尼宣布了近代最令人惊喜的信息科学发展成果”。12 月 15 日（周日），《纽约时报》在头版发布了马可尼宣布无线传输跨大西洋信号成功的新闻，并刊登了一篇马可尼的传记。为使报道更为圆满，《纽约时报》请马丁（Thomas Commerford Martin）来做结语。马丁当时是《电气世界》的编辑，是电气专业和媒体领域的权威人士，他能在更大的背景中谈论马可尼的成就。

无线电简史.indd 26 2024/3/13 19:40:02



THE ST. LOUIS REPUBLIC.

YEAR. ST. LOUIS, MO., SUNDAY, DECEMBER 15, 1901. PRI

MARCONI ANNOUNCES SUCCESSFUL TRANSMISSION OF A SIGNAL ACROSS ATLANTIC WITHOUT WIRES.

Inventor of the Wireless System Says That He Received a Message at St. Johns, Newfoundland, Which Had Been Sent From Cornwall, England—Claims to Have Solved the Most Difficult Scientific Problem of Modern Times—Imperfect Machinery Used in the Test and the New Wizard Believes That a Perfect System Will Place Communication Between Continents on a Commercial Basis.

SCIENTISTS ASTOUNDED BY PROSPECTIVE REALIZATION OF FEAT AKIN TO THE MIRACULOUS.

"If Marconi says he did it, it must be so."—Edison

在 12 月 15 日的报纸上，大名鼎鼎的爱迪生也发出了支持马可尼的言论：“如果马可尼说他做到了，那一定是真的。”

马丁在 1884 年参与创建了美国电气工程师学会（AIEE，是如今举世闻名的电气与电子工程师协会 IEEE 的前身之一），并在 1887 年至 1888 年担任该协会的主席。马丁热切地称赞马可尼是新生的青年科技天才，并表示他对于马可尼成功传输跨越大西洋信号既惊讶又高兴。

16. 质疑：证据不足事实难辨

行事谨慎低调的马可尼在信号山上进行信号接收实验时并没有邀请其他专业人士在场，更没有邀请媒体人士现场观摩。现场除了他和助手坎普，没有公司以外的第三人可以作证。

他们所接收的验证信号仅是 3 个连续短促的“·”，这确实过于简单。凛冽的西北风夹杂着设备的噪声，在长时间的紧张守听下，他们自己也会怀疑是真的听到了信号的声音，还是自己的幻听。所以，他们也打算第二天再次收听到更清晰的信号后发布消息，可第二天因为天气

无线电简史.indd 27　2024/3/13 19:40:03

变得更加恶劣，他们没有再收到信号。

我们今天知道，由于太阳辐射的因素，在夜间比白天接收跨大西洋无线电信号更有利。马可尼选在下午进行实验是不利的。

注：关于波尔杜的发射器，马可尼并不是故意回避其重要技术指标发射频率是多少，主要是当时发射机的频率指标还很难精确测定。1903 年，弗莱明在一次演讲中说，估测当时的波长应是 1000 英尺（约 304.8m）以上。1904 年，弗莱明发明了测定发射频率（或波长）的设备。1908 年，马可尼在英国皇家学会的一次演讲中说，当时的波长应为 1200 英尺（约 365.8m），对应频率为 820kHz。

17. 认可：权威人士出面支持

学界和业界刚开始对此抱有怀疑，但在哥伦比亚大学著名的电力学教授、权威的物理学家迈克尔·普平（Michael Pupin）公开赞扬马可尼的壮举后，逐渐改变了立场。马可尼随之受到了世界各地的热烈祝贺和欢迎。

马可尼最应该感谢的人是马丁。因为马丁判定马可尼是值得信赖的风云人物，他认为自己应当替马可尼“说话”以表明马可尼“不是个骗子”。为此，马丁在 1902 年 1 月 13 日美国电气工程师学会的年度晚宴上把这位年轻的意大利人安排为贵宾。马丁曾是 AIEE 的主席和多次活动的主持人，他很容易说服学会的领导给马可尼这个荣誉。然而，不是每个人都相信马可尼的声明，马丁发现很难请到工程届人士都来出席晚宴，因此他不得不求助伊莱休·汤姆森（Elihu

无线电简史.indd 28 2024/3/13 19:40:03

Thomson，美国汤姆森·休斯敦公司的创始人，1892 年这家公司与爱迪生的公司合并为通用电气公司）支持这一活动。汤姆森认可马可尼的消息传开后，马丁才得以让华尔道夫 – 阿斯托利亚酒店 300 个座位的阿斯特长廊座无虚席。

为使晚宴达到预期效果，马丁处处精心布置，以彰显马可尼的成就。汤姆森和普平两人都强调，尽管马可尼的证据还很有限，但由于认识和信任马可尼，他们相信马可尼的话。

尽管如此，马可尼还想为自己找到更充分的证据。1902 年 2 月，他搭乘客轮“费城号”从英国前往美国，船上配备了一台马可尼无线电报系统。在越洋航行期间，马可尼周期性地收听到来自波尔杜的莫尔斯电码消息，并邀请船长和大副收听，他还在一张海图上记录下收听到消息的时间和地点。这张在“费城号”上有目击证人的海图比在纽芬兰信号山上收到的信号更好地证明了无线电波可以横跨大西洋传输。事后多次的重复实验和更远距离的通信成功，已经证实马可尼并没有撒谎。

跨越大西洋的无线电通信成功为马可尼公司带来了巨大收益和发展契机，但这次实验的重大意义远不限于商业价值。从人类对自然的认识方面来看，它的科学启发价值更为珍贵。它不仅促使马可尼和德国物理学家卡尔·费迪南德·布劳恩（Karl Ferdinand Braun，1850 年—1918 年）由于发明和改进了无线电报而共同获得 1909 年的诺贝尔物理学奖，更拓展了科学的视野。跨大西洋无线电通信的科学疑点和通信质量的改善引发的思考和证实，就像推倒了多米诺骨牌，诞生了一连串的重大科学收获。

无线电简史.indd 29　2024/3/13 19:40:03

18. 收获一：人类知道了电离层的存在

之所以不敢想，不敢做，甚至不敢相信这次实验的结果是真的，是因为当时人们不知道，地球的高空还存在着一层电离层，而电离层会反射电磁波，可以充当一面巨型的球面反射镜，使电磁波在地面与电离层之间多次被反射，从而让电磁波绕着地球曲率行进。

1902 年，奥利弗·亥维赛（Oliver Heaviside，1850 年—1925 年）和美国工程师亚瑟·科诺尔里（Arthur Kennelly）在同一时间从理论上证明了无线电波之所以能在世界范围内传播，是因为它们在电离层中反弹起了一层带电的气体粒子。亥维赛是英国自学成才的数学天才、物理学家和电子工程师。他没有接受过正规的高等教育，但在数学和工程上做出了众多原创性成就。

1924 年英国科学家爱德华·维克多·阿普尔顿（Edward Victor Appleton）在迈尔斯·巴内特（Miles Barnett）的协助下，用连续波进行了探测电离层高度的实验，他们利用变换频率的电磁波接收到来自电离层的回波，首次直接证实了电离层的存在。他们的实验证实了高层大气中存在一个导电层，可以反射地球曲线以外的无线电波，并且还表明有时反射可能来自第二层、更高的导电层。他们的初步发现于 1925 年被发表在《自然》（*Nature*）杂志上。阿普尔顿因通过对高层大气物理性质的研究，发现电离层而获得了 1947 年的诺贝尔物理学奖。这一电离层被称为“科诺尔里 – 亥维赛层”。由此引发了人们对地球大气层的深入研究和新的认识。

无线电简史.indd 30 2024/3/13 19:40:03

19. 收获二：开启射电天文时代

然而，这并没有结束。1927 年，贝尔实验室刚刚成立两年后，一个名叫卡尔·吉德·央斯基（Karl Guthe Jansky，1905 年—1950 年）的大学毕业生加入进来，担任无线电工程师。当时，跨大西洋的无线电通信系统依然存在背景噪声，他受命调查这些背景噪声的来源，排除可能会影响信号传输的无线电干扰。

央斯基设置了一套可以旋转的大型天线，用来接收频率为 20.5MHz（波长约 14.6m）的无线电波。经过几个月的记录和分析，他将背景噪声归类成 3 种类型：附近的雷雨、遥远的雷雨，以及来历不明的淡淡嘶嘶声。他花了一年多的时间来调查第 3 种类型的背景噪声，发现其强度每天都会涨落一次。

央斯基起初推测该噪声来自太阳辐射。然而几个月后，最强的噪声信号源开始远离太阳的位置。他也确定信号的重复周期为 23 小时 56 分钟，刚好是地球的自转时间（恒星日），而不是太阳日（24 小时）。央斯基认为它来自于银河系中心，而人马座方向的信号源是最强的。

他的发现受到广泛宣传，被刊登在 1933 年 5 月 5 日的《纽约时报》上，他当年还发表了经典论文《明显的外太空电子干扰源头》。他的这一发现标志着射电天文学诞生，结束了以往人们只能通过可见光观测宇宙的历史，拓展了人类认识宇宙的视野，开启了新的天文观测时代。20 世纪中期的四大重要天文发现——星际分子、类星体、微波背景辐射和脉冲星——都是通过射电天文的手段和方法取得的。

无线电简史.indd 31　2024/3/13 19:40:03

本章主要参考文献

[1] CARLSON W B. Tesla: inventor of the electrical age[M]. Princeton: Princeton University Press, 2013.

[2] RABOY M. Marconi: the man who networked the world[M]. Oxford: Oxford University Press, 2016.

[3] HONG S, KING J. Wireless: from marconi's black box to the audion[J]. American Journal of Physics, 2003, 71(3): 286–288.

[4] HUNT B J. Oliver Heaviside: a first-rate oddity[J]. Physics Today, 2012, 65(11): 48–54.

[5] 钱长炎 . 赫兹发现电磁波的实验方法及过程 [J]. 物理实验 , 2005, 25(7): 33–38.

[6] One family: generations of discovery[EB]. 2020–7.

[7] 薛轶群 . 万里关山一线通 : 近代中国国际通信网的构建与运用 (1870–1937) [M]. 北京 : 社会科学文献出版社 · 历史学分社 , 2022.

[8] The Atlantic Cable Projectors[EB]. 2019–12.

无线电简史.indd 32 2024/3/13 19:40:03

第二章　理论引导技术

进入20世纪后，世界变得越来越小，在世界大战、经济危机、意识形态的对抗之外，人类生活方式的改变也构成了色彩斑斓的历史图景。澳大利亚著名经济历史学家杰弗里·布莱内（Geoffrey Blainey，1930年—）在其著作《20世纪简史》（*A Short History of The 20th Century*）中讲述了无线电、汽车和飞机对文明进程和生活的影响。2018年上海三联书店出版社为这本书的中译本加了个副标题：《从无线电到柏林墙》。无线电确实从其诞生开始，就在参与人类历史的书写了。

不管无线电技术更新多快，它始终在电磁理论的框架之内，丝毫未曾逾越。我们有必要了解一下，无线电的理论基础——电磁理论是如何建立的。这个故事依然传奇而精彩。

1.“有用”和“无用”之争

20世纪20年代的一天，美国著名教育家亚伯拉罕·弗莱克斯纳（Abraham Flexner，1866年—1959年）遇到了70多岁的老绅士乔治·伊士曼（George Eastman，1854年—1932年），后者是举

无线电简史.indd 33　2024/3/13 19:40:03

世公认的大众摄影之父、柯达公司创始人。那时，伊士曼正准备把毕生积蓄的一大部分投入美国高等教育事业，用于推动“有用学科”的发展。

弗莱克斯纳问伊士曼：“在您心目中，谁是当今最‘有用’的科学家呢？”伊士曼不假思索地说：“马可尼。”在伊士曼看来，马可尼的发明从根本上改变了人类的沟通方式，推动了整个人类文明的发展。

没想到的是，弗莱克斯纳却语出惊人：“亲爱的伊士曼先生，在我看来，无论我们从广播获得怎样的快乐，无论无线电和广播为人类生活带来了什么，马可尼的贡献几乎可以忽略不计。”

面对老绅士震惊的目光，这位普林斯顿高等研究院的创始人解释道：“伊士曼先生，马可尼的出现是必然的，因为在此之前，已经有一位巨人为无线电的发明默默铺好了所有台阶，只待有人登上台阶去摘取桂冠，此人就是詹姆斯·克拉克·麦克斯韦。”

这个著名的故事来自于弗莱克斯纳那篇著名的文章——《无用知识的有用性》，发表于 1939 年的《哈泼斯杂志》（*Harper's Magazine*）。

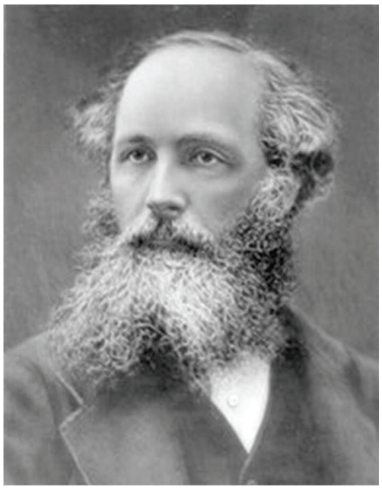
詹姆斯·克拉克·麦克斯韦（James Clerk Maxwell，1831 年—1879 年），这位英国物理学家，经典电磁理论的奠基人，于 1865 年开始对电磁场展开数学研究，并在 1873 年出版了《电磁通论》（*A Treatise on Electricity and Magnetism*），这部著作被尊为继牛顿《自然哲学的数学原理》之后最重要的一部物理学经典。因此，麦克斯韦被普遍认为是 19 世纪的物理学家中，对 20 世纪初物理学进展

无线电简史.indd 34 2024/3/13 19:40:03

影响最大的科学家，他使物理学实现了自牛顿以后的第二次统一。他的理论为狭义相对论和量子力学打下基础，是现代物理学的先声。

他在法拉第工作的基础上，总结了 19 世纪中叶以前对电磁现象的研究成果，建立了电磁场的基本方程，即麦克斯韦方程组。从这一理论中得出，电磁过程在空间是以一定速度（相当于光速）传播的，从而否定了“超距作用”的错误概念，得出光的本质是电磁波的结论。他在热力学、光学、分子物理学和液体性质的理论等方面都有一定成就。1871 年起，他领导建立了卡文迪许实验室（Cavendish Laboratory）。他还领导了测定标准电阻、电量的单位，电磁和静电之间的比值等工作。

1931 年，是麦克斯韦诞辰 100 周年，也是法拉第发现电磁感应开始酝酿力线和场的思想的 100 周年。阿尔伯特·爱因斯坦（Albert Einstein，1879 年—1955 年）提出了“麦氏纲领”：用场来描述物理实在，用偏微分方程来解释场，经典的场理论应当作为量子法则的出发点，没有它就没有量子论。正是麦克斯韦的这些思想，启发了爱因斯坦的灵感。



麦克斯韦

当 20 世纪即将结束的时候，英国广播公司（BBC）在全球范围举行了“千年思想家”评选，评出了 1000 年—2000 年的世界十大思想家，麦克斯韦位列其中。

无线电简史.indd 35　2024/3/13 19:40:03

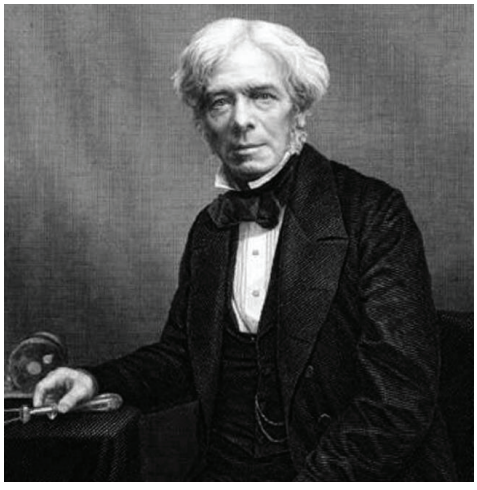
2. 理论诞生的前夜

诚然，麦克斯韦是电磁理论的提出者和集大成者，为人类理解自然界做出了无与伦比的贡献，而他的理论研究建立在迈克尔·法拉第（Michael Faraday，1791 年—1867 年）的基础之上。

法拉第家境贫寒，未接受过学历教育，凭借刻苦自学和勤劳智慧在电磁学和化学等领域做出了杰出贡献。他为人质朴，不图名利，不但放弃有丰厚报酬的商业性工作，还谢绝了英国皇家学会会长职位和爵士封号，以平民身份终生在英国皇家学院实验室工作，只为探究科学真理。

1831 年，法拉第完成了“电—磁”和“磁—电”电磁感应的实验，预告了变压器和发电机的诞生，为人类大规模生产、输送和利用电能打下基础，被誉为 19 世纪最伟大的实验之一。

1837 年，法拉第引入了电场和磁场的概念，指出电和磁的周围都有场的存在，这打破了牛顿力学“超距作用”的传统观念。1838 年，他提出了电力线这一新概念来解释电、磁现象，这是物理学理论上的一次重大突破。1843 年，法拉第用有名的冰桶实验，证明了电荷守恒定律。1845 年，他发现了磁光效应，



法拉第

无线电简史.indd 36 2024/3/13 19:40:04

用实验证实了光和磁的相互作用，为电、磁和光的统一理论奠定了基础。法拉第和他的先辈一样，研究电和磁是为了探究自然，是为了追求真理，而不是实用。

1852 年的一天，新上任的财政大臣格莱斯顿（后来任英国首相）到皇家学院听法拉第的电磁学讲演，临走时他问道：“可是法拉第先生，这到底有什么用呢？”法拉第回答：“部长先生，说不定过不了多久，您能够收它的税呢！”几十年后，电果真成了实用的东西，英国政府果真收起电税来（这个税应该是指电力税）。恐怕科学家法拉第和政治家格莱斯顿当时想象不到，一百多年后，由电磁学发展出来的技术应用中，还有另一种数额更加可观的税——无线电频谱资源也是可以用来抽税的。

场论的思想是 20 世纪物理学发展的主导思想之一。爱因斯坦把创立场论的法拉第和麦克斯韦称作一对儿，就像创立经典力学的伽利略和牛顿一样，他们的伟大是可相比拟的。

美国著名的实验物理学家罗伯特·安德鲁·密立根（Robert Andrews Millikan，1868 年—1953 年）因为电子电量测定及光电效应实验方面的重要贡献获得了 1923 年的诺贝尔物理学奖。作为一名实验物理学家，他不但重视实验，也极为重视理论的指导作用。他在获奖演说中讲道：“科学是用理论和实验这两只脚前进的，有时这只脚先迈出一步，有时另一只脚先迈出一步，但是前进要靠两只脚。先建立理论然后做实验，或者先在实验中得出了新的关系，然后再迈出理论这只脚并推动实验前进，如此不断交替进行。”他用非常形象的

无线电简史.indd 37　2024/3/13 19:40:04

比喻说明了理论和实验在科学发展中的作用。

毫无疑问，作为电磁学的核心人物，法拉第是位杰出的实验物理学家，但由于未接受专业的训练，他的数学功底比较薄弱，搭建电磁学理论大厦的重任落在了年轻的数学家、物理学家麦克斯韦身上。1860 年秋天，29 岁的麦克斯韦受聘到伦敦国王学院任自然哲学和天文学教授。他带妻子来到伦敦后，拜访了年近七旬的法拉第。两人一见如故，马上谈论起电磁学的问题。尽管当时年迈的法拉第已经有了记忆力衰退的迹象，但他们的会面在科学史上具有伟大的意义，象征着实验和理论的结合，电磁学即将由此进入新的时代。

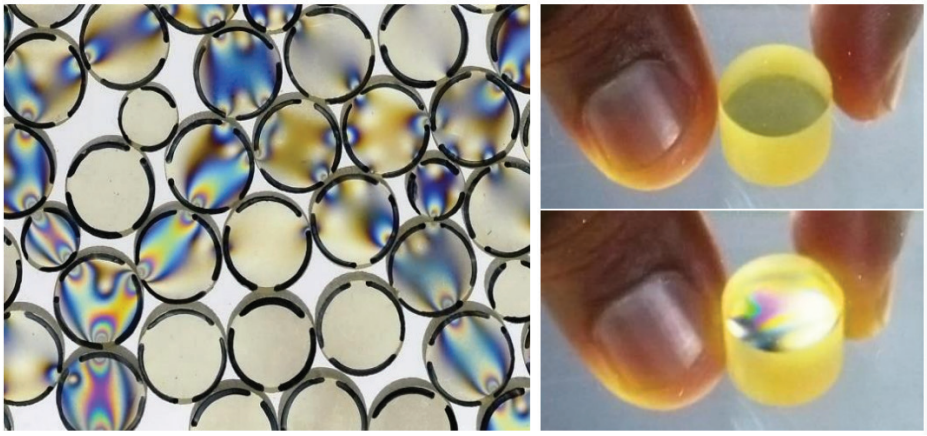
3. 伟大却不被熟知的科学家

麦克斯韦 1831 年 6 月 13 日出生于英国苏格兰爱丁堡，父亲是一名律师。他从小接受了良好的家庭教育，10 岁那年被父亲送进爱丁堡公学就读。1847 年，16 岁中学毕业后进入苏格兰的最高学府爱丁堡大学学习，他专攻数学和物理，是班上年纪最小、成绩最优秀的学生。他还是一位苏格兰诗歌爱好者，不但能对许多诗歌熟读成诵，还喜欢自己作诗。

在大学的课程之外，他投入大量精力用于偏振光的研究。他对组合在一起的明胶块施以不同的应力，然后将偏振光照射于其上，发现明胶块中出现了彩色条纹，即光弹性现象。利用光弹性，人们可以确定物体中的应力分布。麦克斯韦 18 岁时，向爱丁堡皇家学会的会报提交了《论弹性固体的平衡态》（*On the Equilibrium of Elastic*

无线电简史.indd 38 2024/3/13 19:40:04

Solids）一文。他通过这篇论文，探讨了在剪应力作用下，黏稠液体会出现的双折射现象。



麦克斯韦这项研究如今被制成科普展品“应力光链”在科技馆展出。照片中的彩色条纹反应了应力片间的受力分布，这个演示把光学和力学有机结合起来（来源：合肥磐石智能科技股份有限公司）

1850 年 10 月，麦克斯韦离开苏格兰前往剑桥大学深造。在三一学院，他加入了剑桥大学秘密的精英社团——剑桥使徒（Cambridge Apostles）。1851 年 11 月，他开始在威廉·霍普金斯（William Hopkins）的指导下学习。1854 年，麦克斯韦从剑桥大学三一学院毕业，取得数学学位。同年，他读到了法拉第的《电学实验研究》，对电学产生了浓厚兴趣。23 岁的麦克



在剑桥大学三一学院就读时期的青年麦克斯韦，手上拿着他发明的比色环

无线电简史.indd 39　2024/3/13 19:40:04

斯韦给 30 岁的威廉·汤姆森（即后来的开尔文勋爵）写了一封热情洋溢的信，向他求教关于电学的学习和研究方法，两位科学巨匠的友谊从此开始。1855 年 10 月 10 日，麦克斯韦获批成为三一学院的评议员。1856 年 11 月，麦克斯韦接受了马歇尔学院的教授职位，离开了剑桥。

麦克斯韦在马歇尔学院执教期间证明了土星环是由大量小颗粒构成的。土星环的性质在当时是个有趣的问题：它为什么能稳定地环绕在土星周围，既未飘远散开，又未撞向土星。这个问题从 1610 年伽利略观测土星开始，已经困扰了科学家们两百多年。剑桥大学圣约翰学院 1857 年将其设为亚当斯奖的悬赏问题，受到特别关注。麦克斯韦花了两年时间来研究这一问题。他证明如果土星环是固体的话，那么它不会稳定；而如果是气体的话，它也会因为波的作用而裂解。因而，他得出土星环由有各自环绕土星运动轨道的大量的小颗粒构成的结论。1859 年，他因论文《论土星环运动的稳定性》（*On the Stability of the Motion of Saturn's Rings*）而获得亚当斯奖。1980 年 11 月，麦克斯韦的论断最终被旅行者 1 号探测器（Voyager 1）飞掠土星时的一系列观测所验证。

无线电简史.indd 40 2024/3/13 19:40:04



美国旅行者 1 号探测器于 1977 年 9 月 5 日发射，1980 年 11 月经过土星系统，是距离地球最远的人造飞行器，目前仍可以接收到它发回地球的无线电信号

1857 年，麦克斯韦与当时马歇尔学院的校长丹尼尔·杜瓦（Daniel Dewar）成为朋友，并结识了他的女儿。1858 年与杜瓦的女儿凯瑟琳（比麦克斯韦大 7 岁）结婚。1860 年年初，马歇尔学院与邻近的阿伯丁国王学院合并成立阿伯丁大学。在合并后，自然哲学教授职位只有一个。麦克斯韦尽管已有一定的声望，但仍竞聘岗位



旅行者 1 号探测器于 1980 年 11 月 16 日拍摄的土星环，当时它距离土星 530 万千米。阳光照射土星形成的影子投在土星环上面

无线电简史.indd 41　2024/3/13 19:40:04

失利。此后，他还被传染上天花病毒，几乎丧命。康复后，他转而受邀到伦敦国王学院任自然哲学教授。1860 年夏天，麦克斯韦夫妇前往伦敦。

注：自然哲学是现代自然科学的前身，是物理学的基石。弗朗西斯·培根（Francis Bacon）称自然哲学为“科学的伟大母亲”。从发展脉络上来看，现代科学是经由自然历史、自然哲学、自然科学 3 个阶段发展而来的。



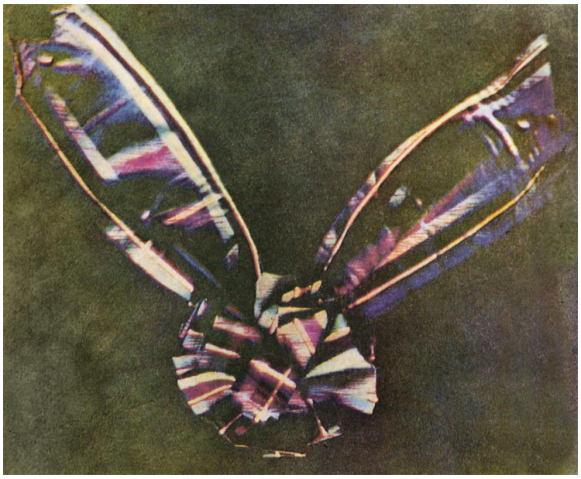
1869 年麦克斯韦夫妇的合影

麦克斯韦在伦敦国王学院期间学术成果丰硕。1860 年，他因在色彩学方面的研究形成《色觉理论》（*On the Theory of Colour Vision*）而获得英国皇家学会的拉姆福德奖章，并于 1861 年获选进入英国皇家学会。1861 年 5 月 17 日，在皇家学院做的有关色彩理论的

无线电简史.indd 42 2024/3/13 19:40:05

讲座中，麦克斯韦展示了在他的指导下由摄影师托马斯·萨顿（Thomas Sutton）掌镜，利用三色叠加原理拍摄的世界上第一张彩色照片。从1855年到1872年，麦克斯韦发表了一系列有关颜色的感知、色盲，以及色彩理论的研究成果。麦克斯韦的三色摄影法几乎是所有形式的彩色摄影的基础，无论是基于胶片的摄影、模拟视频还是数字摄影。

注：英国的科学通才托马斯·杨（Thomas Young，1773年—1829年）在1802年首次提出三色色觉理论。杨的理论认为，人的视觉神经中有3种不同的感受器，分别感受红、绿、蓝3种不同波长的光。当时杨的理论仅为假说，赫尔曼·冯·亥姆霍兹（Hermann von Helmholtz，1821年—1894年）对其理论进行了修正，并在1850年以颜色配对实验（Color Matching Experiments）证明此说。



透过红、绿、蓝三色滤光器分别拍摄同一景象，而后将影像分别通过3种颜色的滤镜投射到屏上，叠加后就还原了被摄物花呢格纹缎带的彩色影像。这3张底片被存放在爱丁堡印度街14号（麦克斯韦出生地）的博物馆里

（来源：The Illustrated History of Colour Photography, Jack H. Coote, 1993.）

此期间，麦克斯韦的气体黏性理论得到深入发展，他率先开始对物理量间的关系进行量纲分析。更重要的是，他得以与法拉第进行电磁学方面的交流，并有力推

无线电简史.indd 43　2024/3/13 19:40:05

进了电磁学的研究。他于 1861 年发表《论物理力线》（*On Physical Lines of Force*）一文，考察了电场与磁场的性质，提出了解释电磁感应现象的理论模型——分子涡流理论。1862 年年初论文再版时，增补探讨了静电场的性质和位移电流，还探讨了偏振光的偏振方向会在外磁场作用下发生改变的现象，即法拉第效应。

他还在《论物理力线》（再版）第三部分中写到：“我们难以回避这一推断，光与同种介质中引起电磁现象的横波具有一致性。” 经过对于这一问题的后续研究，麦克斯韦提出了电磁波方程。这一方程从理论上预言了当时还未发现的，由交变电磁场激发的电磁波的存在。利用当时已得到的电学实验数值，麦克斯韦得出这种波在空间中的传播速度为 310740000m/s。这与当时法国物理学家阿尔芒·斐索和莱昂·傅科（傅科摆的发明人）测算的光速数值非常接近。他认为这不是一个巧合！

在 1864 年发表的论文《电磁场的动力学理论》（*A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field*）中，麦克斯韦提出电场和磁场以波的形式以光速在空间中传播，并提出光是引起同种介质电场和磁场中许多现象的电磁扰动，并在理论上预言了电磁波的存在。这将电学、磁学和光学统一起来，这个创举被物理学术界公认为是物理学史的重大里程碑。

麦克斯韦不仅是位伟大的科学家，还是个庄园主。在苏格兰柯库布里郡（Kirkcudbrightshire）米德尔比（Middlebie）的家族领地上，父亲留给他一座占地 6.1km^2 的格伦莱尔庄园（Glenlair House）。

无线电简史.indd 44 2024/3/13 19:40:05

1865 年，他辞去伦敦国王学院的职位，带妻子回到了苏格兰，肩负起重建庄园的家族使命。在这座庄园里，他有充足的时间进行物理学实验和思考，继续把关于电和磁的思想系统化。虽然远在乡下，他与科学界的联系并没有中断。他频繁地与乔治·加布里埃尔·斯托克斯（George Gabriel Stokes）、威廉·汤姆森和彼得·格思里·泰特（Peter Guthrie Tait）保持书信往来，讨论学术问题。这些信件又大又重，以致于邮局为他专设了一个邮筒。

在格伦莱尔庄园赋闲期间，麦克斯韦用两年时间重建了房屋，实现了父亲的遗愿。尽管这些房屋后来毁于 1929 年的一场大火，但他搭建起的一座理论大厦至今仍迸发着耀眼的光芒，它就是电磁学巨著《电磁通论》（*A Treatise on Electricity and Magnetism*）。这套两卷本的专著在 1873 年由牛津大学出版社首次出版（后经两次修订，于 1881 年和 1891 年出版第二版和第三版）。麦克斯韦以四元数的代数运算表述电磁理论，并将电磁的势作为其电磁理论的核心。麦克斯韦方程组较为完善的形式——带有 20 个变量的 20 个联立方程，最早出现在这部书里。这部书奠定了现代电磁学的理论基础，它为物理学家和电子电气工程师们提供了所需的工具。运用这些工具可以计算出电荷、电场、电流和磁场之间的相互关系，我们今天所有关于电的一切原理都概莫能外。

进入 19 世纪中叶后，英国逐渐认识到，与欧洲大陆国家特别是与法国和德国相比，英国在科学研究方面是有优势的，但在把科学研究转化为生产力方面却是落后的。于是，英国的大学开始重视本科生的

无线电简史.indd 45　2024/3/13 19:40:05

实验室教育。1868 年，牛津大学决定为物理学家们建立正规的实验室。剑桥大学也不甘落后，当时的校长、物理学家威廉·卡文迪许（William Cavendish，第七代德文郡公爵）自掏腰包资助了实验室的筹建。

1871 年，麦克斯韦受邀担任牛津大学首位卡文迪许教授，实际上就是实验室主任或物理系主任。实验室的筹建、设计和每件仪器的购置都经过他的监管。从 1874 年建成实验室，直至 1879 年因胃癌逝世（年仅 48 岁），麦克斯韦把他人生最后的时光奉献给了这座近代科学史上第一个社会化和专业化的科学实验室。

在麦克斯韦的主持下，卡文迪许实验室开展了物理学教学和科学研究。他坚持在系统讲授物理学理论的同时辅以实验演示，并要求学生亲自动手。实验要求结构简单，学生易于掌握。麦克斯韦说过：“这些实验的教育价值，往往与仪器的复杂性成反比。学生使用的自制仪器虽然经常出毛病，但他们却会比用仔细调校好的仪器学到更多的东西。学生用调校好的仪器会产生依赖而不敢把它们拆成零件。”从那时起，使用自制仪器就成了卡文迪许实验室的传统。实验室附有工作间，可以制作很精密的仪器。麦克斯韦不但重视科学方法的训练，还很注意前人的经验。他在整理亨利·卡文迪许（Henry Cavendish，1731 年—1810 年）留下的有关电学的论著之后，亲自重复并改进了其做过的一些实验。

卡文迪许实验室一百多年来人才辈出，一直身处物理学发现的最前沿，被称为“世界物理学的发源地”。

麦克斯韦的英年早逝是世界科学史上的一大憾事。他生前并未享

无线电简史.indd 46 2024/3/13 19:40:05

受到与之贡献相称的荣誉，主要原因是他这套复杂艰深且有悖于日常直觉的电磁理论起初并未获得普遍认可，几乎无人问津，甚至还存有一些质疑。连麦克斯韦的亲密朋友汤姆森，这位科学界的重要人物都不相信会有“位移电流”这样的东西存在。只有少数几个人对麦克斯韦的研究保持兴趣。

为了验证麦克斯韦的理论，这些痴迷于电磁奥秘的物理学家钻研了 20 多年。在他们中间，有人收集光是由电磁波构成的实验证据，有人修正并简化麦克斯韦的理论。这群物理学家被后人称为“麦克斯韦学派”。如果没有他们的努力，麦克斯韦的理论被广泛接纳将会延迟数十年时间。后来那些造福人类的、不可思议的科学技术的诞生也必将被延后。



赫维赛德不仅是一位天才的理论家，还是一位杰出的发明家。1880 年他发明的同轴电缆获得了英格兰的专利权（专利权号 1407）

4. 一位天才的科学怪人和一个物理学派

英国物理学家和电学工程师奥利弗·赫维赛德（Oliver Heaviside，1850 年—1925 年）便是“麦克斯韦学派”的重要人物之一。赫维赛德出身贫苦，幼年患过猩红热，导致听力受限。他虽然成绩很优秀，但中学毕业后没能攻读大学。他家族中有位长辈是著名的

无线电简史.indd 47　2024/3/13 19:40:05

电学专家查尔斯·惠斯通（自动电报机的发明者），或许是这个原因，赫维赛德 23 岁时接触到了刚出版的《电磁通论》。当时他正在英格兰东北部的纽卡斯尔当电报员。他觉得这本书很高深，下决心要学懂弄通。1874 年，他因为听力下降，不得不辞去电报员的工作，就搬到父母家潜心研究起麦克斯韦的理论。

他性格古怪但十分聪慧，通过数年时间自学微积分和麦克斯韦的《电磁通论》，创立了向量分析学。1881 年，他以“力”取代“势”，大大降低了麦克斯韦理论的复杂程度，将麦克斯韦方程组改写为四则方程的形式。简化后的方程促进了麦克斯韦电磁理论的传播，但当有人提议用他的名字为新方程命名时，赫维赛德拒绝了。

物理学家杨振宁认为：“麦克斯韦方程组的重要性无论如何估价也不会过分。麦克斯韦方程（组）就是电磁论。假如没有对麦克斯韦方程（组）的了解，那就不可能有今天这样的世界。直到今天，麦克斯韦方程（组）的深刻含义仍在继续讨论中。”

简化后的四则方程被誉为是物理学最美的方程，被列入世界各国电磁学的高等教材，它高度简洁并具有极高的对称美感。但数学上的美感是一回事，而找到麦克斯韦理论的实验性证据则是另一回事。撇开可见光的光速与电磁辐射的速度似乎相当这个问题，没有任何实验证据可表明光是由电磁波构成的。纵使电磁辐射形成了光，但麦克斯韦并没有指出电磁波应具有类似于光的反射和折射之类的性质。因为在麦克斯韦的时代，尚不具备人工产生电磁波的实验条件，理论的预测无法得到实验的证实。

无线电简史.indd 48 2024/3/13 19:40:05

于是，《电磁通论》的支持者们不断开展光与电磁波的实验，希望得出有力的实验证据来检验麦克斯韦的理论。乔治·弗兰西斯·菲茨杰拉德（George Francis FitzGerald，1851 年—1901 年）和奥利弗·约瑟夫·洛奇（Oliver Joseph Lodge，1851 年—1940 年）的工作强化了电磁波与光之间的关联。这两人都是麦克斯韦理论的支持者，在麦克斯韦去世的前一年，他们结识于英国科学促进协会（British Association for the Advancement of Science）在都柏林召开的一次会议上。此后这两位物理学家便通过书信往来，展开了合作研究。他们与赫维赛德，三人成为“麦克斯韦学派”的领军人物，共同修订、扩展、澄清和确认电磁场数学理论，推动了科学界对于麦克斯韦电磁理论的认识。

5. 麦克斯韦学派的接力者

1883 年，菲茨杰拉德首次提出了通过产生快速振荡电流以产生电磁波的装置的设想。6 年后，在一次防雷实验中，洛奇注意到导线旁边的放电电容器会产生弧光。好奇之下，他改变了导线的长度，结果电容器中出现了夺目的闪光。他断定这就是电磁波共振所产生的现象！

洛奇确信自己生成并探测到了电磁波，于是从阿尔卑斯度假一回来，他就计划在英国科学促进协会的一次会议上汇报这令人震惊的研究成果。但是，在驶出利物浦的火车上，一本杂志上的文章让他意识到，这个发现已经被其他人捷足先登了。在这本 1888 年 7 月的《物理学年刊》（*Annalen der Physik*）上，他读到了一篇题为《论空气中的

无线电简史.indd 49　2024/3/13 19:40:05

电动力波动及其反射》的文章，论文作者是一位名不见经传的德国研究者——海因里希·鲁道夫·赫兹（Heinrich Rudolf Hertz，1857 年—1894 年）。



赫兹 1894 年的肖像照

1857 年，赫兹出生于德国汉堡的一个富裕的家庭，父亲是律师和参议员，同时还是一位语言学家。受父亲熏陶，赫兹从小喜欢人文知识，还学会了阿拉伯语和梵语。有一位长辈送给他一套实验器具，他就在家里装备起一个小型实验室，学着摆弄物理和化学实验，此后他的兴趣慢慢从人文转到理工，开始展现科学禀赋。他动手能力很强，在绘画、雕刻、木工、金工和设计上都显示出精湛的手工技巧。

1875 年中学毕业后，赫兹在一家公司实习土木工程。1876 年到南部的德累斯顿工学院学习。半年后，他按规定服了一年兵役。之后转到慕尼黑继续学习数学和力学。20 岁时，他来到柏林，开始从一个实验者转变为学者。1878 年他进入柏林大学，并在亥姆霍兹和古斯塔夫·罗

无线电简史.indd 50 2024/3/13 19:40:06

伯特·基尔霍夫（Gustav Robert Kirchhoff，1824 年—1887 年）的指导下学习。

亥姆霍兹是 19 世纪最伟大的科学家之一，他对生理学、光学、电动力学、数学和气象学均有十分重要的贡献，最著名的成就是发现能量守恒定律。基尔霍夫比亥姆霍兹小 3 岁，在电路和光谱学都有以其名字命名的定律，他 1862 年创造了“黑体”一词，其最著名的著作是《数学物理学讲演集》。亥姆霍兹不仅自己科学成就卓著，还培养出了众多大师级的科学家：发明彩色照相术的加布里埃尔·李普曼（Gabriel Lippmann）、以测量光速而著名的阿尔伯特·迈克尔逊（Albert Michelson）、将电磁波带给世界的赫兹、建立能量量子化理论的普朗克（Max Planck），以及发现热辐射和维恩位移定律的威廉·维恩（Wilhelm Wien）。



亥姆霍兹的肖像作品（德国画家 Ludwig Knaus 1881 年的画作）

亥姆霍兹对电磁学的发展做出了重大贡献，在德国他是早期认同麦克斯韦理论的少数几名科学家之一。1893 年，亥姆霍兹在美国芝加哥召开的第四届国际电气工程师大会上主持制定了欧姆、安培和伏特

无线电简史.indd 51　2024/3/13 19:40:06

这 3 个基本的电磁学单位。但在返回欧洲的船上，他不慎在甲板上跌倒受伤，伤病未愈直至次年逝世，享年 73 岁。以他名字命名的德国亥姆霍兹国家研究中心联合会（Helmholtz Association of German Research Centres），如今是德国乃至欧洲最大的科学研究机构。

赫兹从事电磁学实验研究是从 1878 年他进入柏林大学以后才开始的，他研究的直接动因是亥姆霍兹为柏林大学和普鲁士科学院提出的两个悬赏课题。亥姆霍兹为赫兹提供了实验仪器和相关的文献资料，并且每天都与他讨论研究进展。从 1878 年 10 月到 1879 年 1 月，在亥姆霍兹的精心指导下，赫兹出色地完成了第一个课题的研究任务并获得奖励。1880 年，赫兹将这项研究成果以题为《电路动能上限的实验研究》的论文在《物理和化学年鉴》上发表。

另一个悬赏课题就是用实验证实麦克斯韦的电磁理论。这项悬赏课题的奖金为 955 马克（原德国货币单位），解决方案和实验结果要求在 1882 年 3 月 1 日前提交至普鲁士科学院。亥姆霍兹认为赫兹最有可能解决这个问题，但赫兹当时没有跟进这个课题。赫兹 1880 年获得博士学位后，继续在柏林大学跟随亥姆霍兹工作和学习，直到 1883 年他收到来自基尔大学出任理论物理学讲师的邀请。1885 年，他受邀到卡尔斯鲁厄理工学院任教授时，之前的第二个悬赏课题仍然悬而未决。

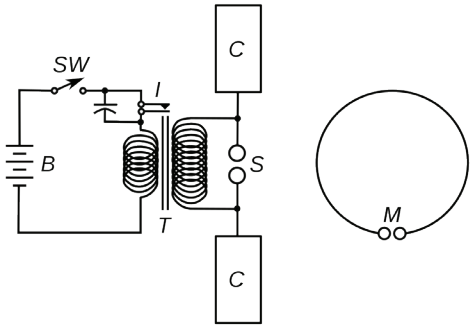
注：卡尔斯鲁厄理工学院创建于 1825 年，是德国历史最悠久的理工大学，为德国近代科技和工业的发展做出了重大贡献。汽车工业的先驱卡尔·本茨（Karl Benz）曾就读于该校。

无线电简史.indd 52 2024/3/13 19:40:06

6. 改变世界的实验

1886 年，赫兹发现当通过一组线圈对电容器放电时，会产生奇特的现象，即距离不远处的另一组完全相同的线圈会在其未相互连接的末端间出现弧光。赫兹意识到，未相连的线圈中所出现的弧光是接收电磁波所导致的，而电磁波则是由带有放电电容器的线圈所激发的。

于是，倍受鼓舞的赫兹便开始利用这类线圈中的弧光，来探测不可见的射频波动。他不断进行实验，进而证实了电磁波也会展现出反射、折射、衍射和偏振等类光行为。他在导线周围对比真空和空气环境做了大量的实验。赫兹还用沥青做了一块电磁波可穿透的棱镜，他用这块一米多高的棱镜来观察相对显著的反射和折射现象。他朝着由平行导线组成的栅格发射电磁波，进而证实了电磁波会反射或穿过栅格，具体效果取决于栅格的方向。这一结果表明电磁波和光一样是横向的，它们的振动方向垂直于传播方向。赫兹也利用大块的锌板对电磁波进行了反射，并测量了所产生的驻波中抵消零点之间的距离，进而确定了这种波的波长。

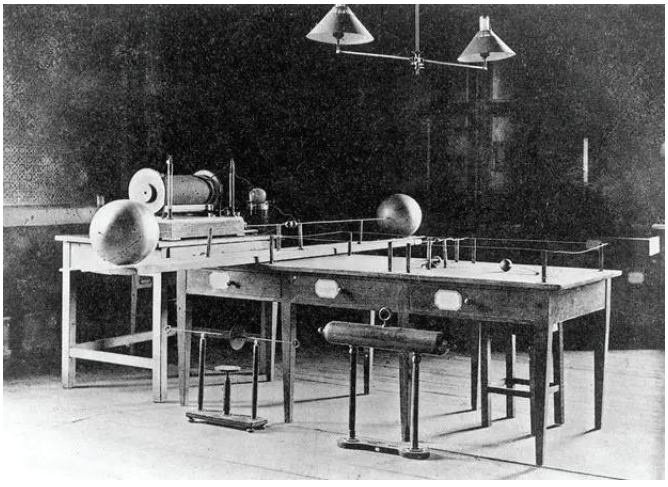


赫兹用来发现电磁波的实验电路。左侧是火花隙发射器，由一对偶极子天线组成，该偶极子天线由两根水平线制成，两端（C）上有金属板以增加电容，它们之间有一个火花隙（S），连接到由电池（B）供电的感应线圈（T）。感应线圈施加到天线上的高压脉冲会在火花隙上产生火花，从而激发天线中的电流驻波，使其辐射电磁波（无线电波）。这些波由右侧这个环形金属接收器探测，该接收器是由一圈导线组成的谐振环形天线，其两端之间有一个微米级火花隙（M）

无线电简史.indd 53　2024/3/13 19:40:07

当赫兹按下线圈初级电路中的开关（SW）时，单个火花会跳过发射天线，产生无线电波脉冲，在接收器环路中产生单个微小的火花。波的频率由充当半波长偶极子的天线长度决定，赫兹使用的短天线在UHF频段产生高频波。值得注意的是，实验装置中的金属间隙出现的电火花并不是电磁波，而是由于电场强度产生了闪烁放电。电磁波由振动的电场和磁场构成，可以在真空中传播，但电火花只是在电荷的加速过程中由于能量的释放而发生。当时实验产生的电磁波的频带宽度很大，最小的波长约为60cm，相应最高的频率约为500MHz。

赫兹通过测量类似回路的发射天线上的电容量和电感量，计算出了电磁辐射的频率，再加上上面的波长数据，他就可以计算这种不可见波的传播速度，该数值与已知的可见光传播速度十分接近。1886年至1889年，赫兹进行了一系列实验，证明他观察到的效应是麦克斯韦预测的电磁波的结果。从1887年11月开始，他向柏林大学的亥姆霍兹发送了一系列论文，包括《绝缘体中的电干扰产生的电磁效应》。



赫兹利用线圈（左侧）和天线（右侧）生成并探测到了可见光范围之外的电磁波（来源：卡尔斯鲁厄理工学院档案）

麦克斯韦假

无线电简史.indd 54 2024/3/13 19:40:07

设光是一种电磁波。赫兹证实了很可能整个宇宙中的不可见电磁波都拥有类似可见光的特性，它们在宇宙中的传播速度也与可见光相同。从推理的角度而言，让众人接受光本身也是一种电磁波的论断，这些启示已经足够了。

注：由于超过了普鲁士科学院悬赏课题的截止时限 1882 年 3 月 1 日，虽然完美实现了课题目标，但赫兹并未因此领到悬赏奖金。

赫兹研究工作的美妙和完备大大补偿了洛奇对于被抢了头条的失望之情。于是，洛奇和菲茨杰拉德开始致力于推广赫兹的发现，他们将这一成果在英国科学促进协会进行讲演，赫维赛德也与赫兹进行了密切的书信往来，共同探讨麦克斯韦的理论。世界各国的科学家们终于接纳了电磁波能够在真空中传播的观点。由于缺少行之有效的力学机制而起初不受欢迎的场论，也在现代物理的绝大多数层面占据了核心地位。麦克斯韦的电磁理论在“麦克斯韦学派”科学家们的共同努力下，取得了决定性胜利！

同时，赫兹的实验也启发了无线电报的发明。早期无线电报的发射装置与赫兹使用的宽波段火花间隙装置类似，这个时期就被称为无线电报的“火花时代”。正是这点点火花，点燃了无数人的激情和梦想，经过一代代人的不断努力，无线电科技蓬勃发展，逐渐形成今天燎天炽地的景象。

然而，就像盗火者普罗米修斯一样，赫兹沿着法拉第、麦克斯韦及亥姆霍兹的足迹“盗取”了“天火”（生成电磁波）为人类造福，他本人却遭受了“惩罚”。1894 年元旦，赫兹因为败血症在德国波

无线电简史.indd 55　2024/3/13 19:40:07

恩离世，年仅 36 岁。后人为了纪念他的卓越贡献，1930 年国际单位制使用“赫兹（Hz）”来计量“频率”，即某活动每秒发生的次数。

本章主要参考文献

[1] RABOY M. Marconi: the man who networked the world[M]. Oxford: Oxford University Press, 2016.

[2] HUNT B J. Oliver Heaviside: a first-rate oddity[J]. Physics Today, 2012, 65(11): 48-54.

[3] HUNT B J. The Maxwellians[M]. Ithaca: Cornell University Press, 1991.

[4] 周兆平 . 破解电磁场奥秘的天才麦克斯韦 [M]. 合肥 : 安徽人民出版社 , 2009.

[5] 秦关根 . 法拉第 [M]. 北京 : 中国青年出版社 , 2010.

[6] 钱长炎 . 赫兹发现电磁波的实验方法及过程 [J]. 物理实验 , 2005, 25(7): 33-38.

无线电简史.indd 56 2024/3/13 19:40:07