

库仑，他让电学成为一门现代科学

陈关荣

(香港城市大学)

“电”的概念古来有之，但对电的研究到了 16 世纪才随着现代科学的发端而开始。

【一】

有关电的记载可追溯到公元前 6 世纪。希腊哲学家泰勒斯 (Thales of Miletus, 前 624~620 年—前 548~545 年) 留下笔记, 说用木块摩擦过的琥珀能够吸引碎草等轻小物体。在中国, 西汉 (前 202 年—9 年) 时期在民间也有“瑇瑁吸若”的说法, 即玳瑁的背甲片可以吸引细小物件。到了晋朝, 张华 (232 年—300 年) 在他的《博物志》中有“今人梳头, 脱著衣时, 有随梳解结有光者, 亦有咤声”的记述。

1600 年, 英国科学家威廉·吉尔伯特 (William Gilbert, 1540—1605) 在《论磁》(De Magnete) 一书中指出: 磨擦琥珀、钻石、宝石等可以吸引羽毛之类细小物件并且磨擦过程中会产生火花。他还杜撰了一个拉丁语单词 electricus, 意指“像琥珀一样的”东西或过程。1646 年, 这个拉丁语单词被另一位英国博学家托马斯·布朗爵士 (Sir Thomas Browne, 1605—1682) 在《伪流行病》(Pseudodoxia Epidemica) 一书中引用, 后来变成了正式英语单词 electric。

从那时候起, 电在生活中的应用潜力已曙光渐见。人们开始尝试设计并制造能够产生静电的器械。不过, 人类这一愿望经过了两个多世纪的时间和许多科学家的努力及接力研究才得以实现。

1660 年, 德国物理学家奥托·冯·格里克 (Otto von Guericke, 1602—1686) 发明了第一台摩擦起电机。后来牛顿建议把他使用的硫磺球改成玻璃球。这台机器在其后一百多年的静电实验研究中起过重要作用。

1706 年, 英国物理学家弗兰西斯·豪克斯比 (Francis Hauksbee, 1660—1713) 改进了冯·格里克的摩擦起电机。

1730 年, 德国物理学家格奥尔格·博斯 (Georg Matthias Bose, 1710—1761) 通过增加集电导体进一步改良了摩擦起电机。

1745 年, 苏格兰物理学家安德鲁·戈登 (Andreas Gordon, 1712—1751) 对冯·格里克的机器又作了改造, 把牛顿的玻璃球换成玻璃圆筒, 制成了高效的摩擦起电机。

1762 年, 英国物理学家约翰·康顿 (John Canton, 1718—1772) 通过在摩擦器表面喷洒锡汞合金大大提高了起电机的效率。

1775 年，意大利物理学家亚历山德罗·伏特（Alessandro Volta, 1745–1827）创造了一种起电盘，它由一块绝缘平板和一块导电平板组成，通过摩擦使绝缘板带电。1799 年，他设计并制作了第一个能产生持续电流的化学电池，即“伏打电池”。

1784 年，由荷兰物理学家马丁·范·马鲁姆（Martin van Marum, 1750–1837）设计、英国仪器制造家约翰·库斯伯森（John Cuthbertson, 1743–1821）加工，两人联手建造了第一台大型实用静电起电机，在荷兰 Haarlem 市的 Teylers 博物馆展出。

1787 年，英国仪器工程师爱德华·奈恩（Edward Nairne, 1726–1806）发明了一个静电发生器，它由安装在玻璃绝缘体上的玻璃圆筒组成，可以产生正电或负电，并尝试提供给医疗应用。

1831 年，意大利物理学家朱塞佩·贝利（Giuseppe Belli, 1791–1860）开发了一种简单便捷的静电倍增器，能够把机器产生的几乎所有电荷传给集电器。

1840 年，英国物理学家威廉·阿姆斯特朗（William G. Armstrong, 1810–1900）发现锅炉喷出的水蒸气在冷凝的过程中会产生电弧，即“阿姆斯特朗效应”（Armstrong effect）。1843 年，他在该效应基础上设计了一台大型静电发生器。

1860 年，英国工程师克伦威尔·瓦利（Cromwell F. Varley, 1828–1883）制造了第一台现代意义下的静电起电机。1865 年，德国物理学家奥古斯特·托普勒（August J. I. Toepler, 1836–1912）对之作重大改进。

1865 年，德国物理学家威廉·霍尔茨（Wilhelm Holtz, 1836–1913）发明了另一种静电起电机，能把电荷收集在莱顿瓶里。

1867 年，英国物理学家开尔文勋爵（Lord Kelvin, William Thomson, 1824–1907）发明了被称为“开尔文滴水起电机”（Kelvin Water Drop）的静电发生器。该装置利用水滴在滴落过程中对电压差的正反馈作用以及水中正负离子对在电偶极子产生的静电场的静电感应作用来形成电压差从而产生并积蓄静电荷。

1882 年，英国发明家詹姆斯·威姆斯赫斯特（James Wimshurst, 1832–1903）创造了圆盘式静电感应起电机，其中两个同轴玻璃圆板可反向高速转动，它的摩擦起电效率很高，并能产生较高的电压。他的机器被认为是把瓦利和霍尔茨的静电起电机合二为一而成。这种静电起电机经过多次改良后一直沿用至今，特别是在中学物理课堂上作电学实验演示使用。

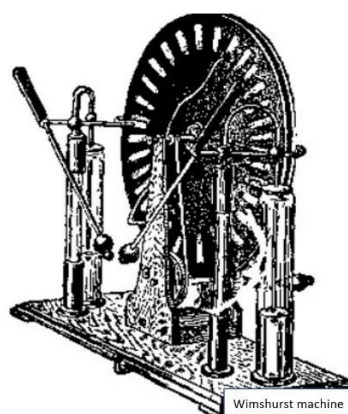


图 1 圆盘式静电感应起电机

【二】

关于电荷相互作用的定性、特别是定量的科学研究，从 18 世纪后期开始。

1747 年，美国科学家、政治家本杰明·富兰克林（Benjamin Franklin, 1706–1790）根据实验指出：在正常条件下电以一定的量存在于所有物体之中；摩擦的作用可以使它从一个物体转移到另一个物体，但它不能被创造。他指出，任何孤立物体的电总量是不变的，这就是“电荷守恒定律”。他把摩擦时物体获得的电的多余部分称作“带正电”，物体失去电而不足的部分称作“带负电”。他还观察到，导体的尖端更容易放电。1752 年，富兰克林在雷雨天气时将风筝放入云层来进行雷击实验，证明了雷闪是一种放电现象。他还建议采用避雷针来保护建筑物免遭雷击，该方案在 1754 年由捷克发明家瓦茨拉夫·迪维斯（Vaclav P. Divis, 1698–1765）在高层建筑上实现。1755 年，富兰克林还做了一个“空罐实验”，发现带电银罐内部测量不到任何电荷。

1759 年，德裔俄罗斯数学家弗朗茨·埃皮努斯（Franz U. T. Aepinus, 1724–1802）在《电学和磁学理论漫谈》（An Essay on the Theory of Electricity and Magnetism）一书中推测：电荷之间的斥力和吸力随着两个带电物体之间的距离减少而增大。

1776 年，英国化学家约瑟夫·普里斯特利（Joseph Priestley, 1733–1804）发现带电金属容器的内表面没有电荷，他还猜测电荷力与牛顿的万有引力有相似规律。

1769 年，苏格兰科学家约翰·罗宾逊（John Robison, 1739–1805）通过作用在一个小球上电力和重力平衡的实验，第一次直接测定了两个电荷相互作用力与距离的 2.06 次方成反比，但是他的结果没有正式发表。

1773 年，英国科学家亨利·卡文迪许（Henry Cavendish, 1731–1810）通过使用两个同心金属壳的精准实验推算出两电荷之间的相互作用力与它们距离的 2 ± 0.02 次方成反比。但他的结果也没有正式发表。直到百年之后，英国物理学家詹姆斯·麦克斯韦（James C. Maxwell, 1831–1879）于 1871 年主持剑桥大学的卡文迪许实验室，才整理了卡文迪许的手稿并亲自动手重复了他的实验。麦克斯韦后来正式发表了卡文迪许的实验，让这项早期研究成果为世人知晓。

1785 年，法国物理学家夏尔-奥古斯丁·德·库仑（Charles-Augustin de Coulomb, 1736–1806）发表了论文“电力定律”（loi de l'électricité），报告了他设计的一个精巧扭秤实验，直接测定了两个静止点电荷之间的相互作用力与它们之间的距离的 2 ± 0.04 次方成反比，与它们的电量乘积成正比。库仑的科学实验和精确计算当年便得到了世界的公认，被称为“库仑定律”。它是电学的第一条精确的物理公式，让电学从定性研究进入了定量计算的时代。

作为后话，今天的库仑定律已经精确到了 10^{-9} 的误差范围之内。还有值得一提的是，1811 年法国数学家西蒙·泊松（Simeon D. Poisson, 1781–1842）把力学中的拉普拉斯势论应用于静电势原理，从而发展了静电学的解析理论。随之而来密切相关的重要贡献包括静电场的格林函数（1828 年）和高斯定律（1839 年）。

【三】



图2 夏尔-奥古斯丁·德·库仑
(法国画家 Louis Hierle 1894 作品)

在静电学的发展史中，法国物理学家库仑的功劳首屈一指，他 1785 年的“库仑定律”让电学成为一门现代科学。

库仑于 1736 年 6 月 14 日出生在法国 Angoumois 郡的 Angouleme 镇，父亲亨利·库仑 (Henry L. Coulomb, 1706–?) 是皇家 Languedoc 领地的巡视员，母亲凯瑟琳·巴杰特 (Catherine Bajet, 1711–?) 来自一个富裕的家庭。库仑有四个弟妹：Charlotte, Colombe, Catherine 和 Marie，他们自幼随父母移居巴黎。在那里，库仑进入了 College Mazarin 读书，课程包括哲学、语言和文学。后来父亲遇到经济危机被迫离开巴黎，库仑随父亲移居 Montpellier，母亲和弟妹则留在巴黎。在此期间，库仑就读于 College des Quatre-Nations，在那里他接受了数学、天文学、化学和植物学方面的良好教育。

1758 年，库仑回到了巴黎，两年后他通过了 Mezieres 皇家军事工程学校全部考试，1761 年毕业。库仑随即加入了军队，在工程兵团 (Corps du Genie) 获得中尉军衔。1764 年，他被派往西印度群岛的 Martinique 岛去修建炮堡。在那里，他的健康严重受损，所患疾病影响到他的余生。1772 年，库仑返回法国但不久又被送往 Bouchain 参建军事工程。在那里，他利用工余时间做了一些工程科学研究。1773 年，库仑向法国科学院提交了一篇用数学变分法解决工程问题的论文 (Statistical problems applied to architecture)。

1777 年，法国科学院悬赏要改良航海罗盘，以改善导航精确度。有十多年结构工程经验的库仑自信他的力学知识可以提供改进方案，便参与了这项科学竞赛。库仑认为罗盘上的磁针架在旋转轴上存在摩擦，自然会影响导航精确度，于是提出改用细丝悬吊磁针。他在研究过程中找出了细丝扭转时的扭力与指针转动角度的比例关系，因而发明了扭力计，用它可以测量出极为微小的磁力。库仑的论文赢得了科学院的大奖。更重要的是，库仑发明的扭力计后来成为了他测量电荷力的关键工具。

1779 年，库仑被派往 Rochefort，去那里建造全木头的防御工事。于是他的研究转向了机械和力学，并利用当地造船厂作为实验室。同年，他发表了一篇关于摩擦定律的重要论文，题为“简单机器理论，关于其零件的摩擦力和绳索的刚度”（*Theorie des machines simples, en ayant regard au frottement de leurs parties et a laroideur des cordages*）。1781 年，他又发表了另一篇论文，指出摩擦力与压力成正比。他还提出静摩擦与动摩擦的两条公式，为后来的摩擦学（tribology）做出了奠基性的贡献。库仑的论文又一次获得了法国科学院的大奖。次年，库仑被选为法国科学院院士并在巴黎获得了一个永久的研究员职位。

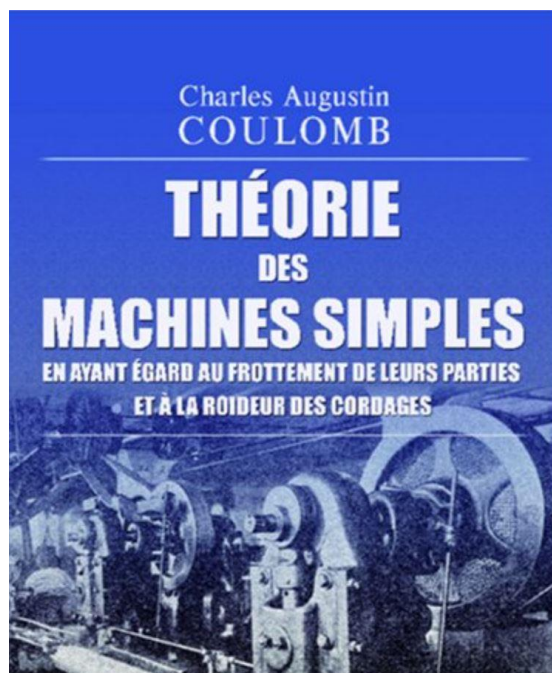


图 3 库仑的论文“简单机器理论”（重印本）

这时库仑仍然以顾问的身份参与军队里多个工程项目。1783 年，他参与了指导 Brittany 运河和港口的改造工程。当年，其实他是违心去承担该任务的。结果项目的进展受到了多方猛烈评击，完全超出了他的预期和判断。最后，他承担了主要责任，并因此于 1783 年 11 月份在监狱里蹲了一个星期。

接下来，库仑离开了那些令他沮丧的工程项目，专心致志于静电学研究。

1784 年，他发表了论文“金属线扭转和弹性的理论研究和实验”（*Recherches theoriques et experimentales sur la force de torsion et sur l'elasticitedes fils de metal*），报告了“扭秤”（torsion balance）中金属线扭转力的实验结果。1785 年，他的“库仑定律”正式被学术界认可。

具体地说，库仑是通过一个精巧的扭秤实验来测试和计算出他的定律的。扭秤实验可以测量微弱的力作用，它是卡文迪许和库仑分别独立设计并使用的，其原理基本相同，只是卡文迪许用它来测试牛顿的万有引力公式，而库仑则用它来测试电荷引力公式。

扭秤的结构如图 4 所示：在一根细金属丝下悬挂一根秤杆，它的一端有一带电小球 A，另一端有一平衡小球。在 A 的旁边固定放置有另一个与它同样大小的带电小球 B。开

始时，让 A 和 B 各带上一定量的电荷。这时秤杆便会因 A 端受力而偏转。然后，用手转动悬垂金属丝上端的旋钮，使小球回到原来的位置。这时悬丝的扭力矩等于施于小球 A 上电力的力矩。如果悬丝的扭力矩与扭转角度之间的关系已事先校准并标定，则由旋钮上指针转过的角度读数和已知的秤杆长度，便可以算出在此距离下 A 和 B 之间的作用力，并且通过悬丝扭转的角度可以比较不同作用力的大小。



图 4 库仑扭秤的结构

用今天的表述形式，标量的库仑定律可以表示为 $F = C \frac{QQ'}{R^2}$ ，其中 F 为两个点电荷之间的静电力（称为库仑力，正值为吸引，负值为排斥）， Q 和 Q' 分别是它们的电量， r 是它们之间的距离， C 是一个常数（称为库仑常数）。

后来的试验进一步证明，两个点电荷之间的静电力关系不会因为第三个点电荷的存在而改变。也就是说，不管空间中存在多少个点电荷，每一对点电荷之间的静电力都遵循库仑定律，而任一点电荷所受的总静电力等于所有其他点电荷单独作用于该点电荷的静电力之向量和，这称为叠加原理（superposition principle）。利用基本的库仑定律与叠加原理，原则上可以计算任意几何形状的两个绝缘带电体之间的静电力。

库仑还获得了磁极之间的吸引和排斥力的类似表达式，即力与两磁极强度乘积成正比、与它们的距离平方成反比。可惜的是，库仑并没有发现电和磁之间的本质联系。

【四】

1789 年法国大革命开始，许多政府部门和科研机构因之而变迁或重组，让科学家库仑失去了他在法国科学院和工程兵团里的所有职务。1791 年，55 岁的库仑正式退休，居住在位于 Blois 的小庄园里。但他仍然继续自己感兴趣的科学研究。在此期间，他研究了枢轴的摩擦力、流体的粘度以及受食物和气候影响的人的能量变化规律等课题。

年深月久，关于库仑个人和家庭生活的记录并不详见经传。库仑曾经二婚，和前妻育有两个儿子，Henry 和 Charles，后妻又给他带来了两个儿子，Alexandrine 和 Leclerc。

库仑年轻时在西印度群岛服役染上了遗恨终身的慢性疾病。1796 年夏天起，他患上慢热 (slow fever)，最后于 1806 年 8 月 23 日在巴黎去世，享年 70 岁。



图 5 法国库仑纪念邮票

1880 年起，“库仑”成为了国际电量单位，代表一安培的电流在一秒内通过导线截面的电量。

此外，“库仑”也是在 1889 年建成的巴黎埃菲尔铁塔上镌刻着的 72 位贤人名字之一。