

中学物理课本之外的安培

陈关荣

(香港城市大学)



图 1 油画《自由引导人民》(Eugène Delacroix, 1831)

由法国著名浪漫主义画家欧仁·德拉克罗瓦 (Eugène Delacroix, 1798–1863) 于 1831 年展出的纪念法国大革命名画《自由引导人民》(La Liberté guidant le peuple) 一直被收藏在巴黎罗浮宫里供游客观赏，广为人知。

法国大革命指 1789 年 7 月 14 日至 1794 年 7 月 27 日在法国爆发的资产阶级民主革命，它推翻了统治法国多个世纪的波旁王朝 (Dynastie des Bourbons) 及其君主制，留下了象征自由、平等、博爱精神的蓝、白、红三色国旗，至今。

法国大革命的起因、进程和演化都非常复杂，历史评价众说纷纭，这里不予讨论。大体上说，其前奏是 1789 年 5 月革命党人攻破了象征路易 (Louis) 王朝权力的巴士底监狱 (Prise de la Bastille)。但随之而来整个国家陷入了无政府状态。和这里故事相关的事件，是里昂 (Lyon) 政府军宣告解散。为了维持社会治安，纺织业商人让-雅克·安培 (Jean-Jacques Ampère, 1733–1793) 将工人组织起来，成立了一支几十人的自卫队。自卫队很快就扩编成“里昂防卫军”，让-雅克担任司令，与里昂警察总署一起维持城市秩序。那时革命党人迅速发展壮大，1791 年 10 月组织了议会并建立了军队。新政权领导层认为里昂防卫军是拥兵自重，翌年 5 月派出军队对他们发动攻击。让-雅克作为防卫军司令前往对方打算谈判，却被当场逮捕并随即判处死刑。

让-雅克在狱中写了两封长信给夫人让娜·德·萨西 (Jeanne Antoinette de Sarcey, 1749–1809)。他在最后一封信中写道：“我期待，我的死能够使里昂市民被屠杀的可能性减至最低。我饶恕那些在法庭上对我咆哮、在断头台旁欢呼，以及宣判我死刑

的所有人……我知道，我不久即将离开人世，前往一个真正永恒的国度。我们一个亲爱的女儿早在彼处等候。此刻，最让我牵挂不下的，是我所爱与眷恋的你们。愿我们两个孩子一生都敬奉上帝、秉公行义。除此此外，我别无所求。”11月23日，让-雅克被送上了断头台。

父亲信中提到的女儿是安托瓦内特（Antoinette Ampère, 1772–1792），她死于当时的骚乱，而“两个孩子”则是儿子安德烈（André-Marie Ampère, 1775–1836）和女儿约瑟芬（Joséphine Ampère, 1785–1838）。

这个男孩安德烈·安培是我们故事的主角。他是个数学家、物理学家和化学家，最重要的科学贡献是1820年–1827年间对电磁相互作用的研究成果。他被詹姆斯·麦克斯韦（James Clerk Maxwell, 1831–1879）誉为“电学牛顿”。



A. Ampère

图2 安培和他的签名

【一】

安培于1775年1月20日出生在里昂。

父亲让-雅克宠爱这个自小好学的孩子，在他识字之前就经常为他讲各种故事、朗诵诗歌、解释戏剧与童话。安培后来回忆道：“我的父亲……从不要求我学习任何东西，但他知道如何激发我对知识的强烈渴望。”他说：“我依然记得，年幼时父亲用幽默的语调给我讲述动物和植物的故事。那些有趣的小故事，深深地诱发了我不断学习的欲望。”

安培的父亲是著名哲学家让-雅克·卢梭（Jean-Jacques Rousseau, 1712–1778）的狂热追随者，并受卢梭《Émile》教育思想的启发，在家里自己给“从未上过学”的儿子传授各种科学文化知识。事实上，安培从来没有读过任何正规学校，因而一生都没有任何正式学位和学历。安培七岁时，父亲开始教他拉丁文、生物学、数学和天文学的基础知识。父亲在家里有个藏书充足的小图书室，让小安培自己读了很多书，包括法国博物学家乔治-路易·勒克莱尔（Georges-Louis Leclerc, 1707–1788）的著名启蒙

作品 42 卷《自然史，一般和特殊》（L'Histoire naturelle, générale et particulière）。安培还凭借惊人的记忆力，按字母顺序阅读了法国启蒙思想家、哲学家丹尼·狄德罗（Denis Diderot, 1713–1784）和让-勒朗·达朗贝尔（Jean le Rond d'Alembert, 1717–1783）编写的《大百科全书》。那时，安培有个“百科全书小天才”的外号。

安培 13 岁时从里昂学院图书馆外借了约翰内斯·伯努利（Johannes Bernoulli, 1667–1748）和莱昂哈德·欧拉（Leonhard Euler, 1707–1783）的数学著作，尝试着阅读。后来，他还去里昂商学院旁听了父亲的一位朋友阿贝·达布龙（Abbé Daburon）教授的数学课程。在那里，他学到了微分和积分的概念。教授给安培的评语是：“数学的困难无法阻挡他前进的脚步。”

1793 年安培 18 岁，父亲被处决的惨案对他打击极大。接下来一年多时间里，安培成了精神病患者。他白天将自己反锁在房间里，夜间外出四处游荡。不过老天有眼，让他偶然读到了卢梭的“植物学通信”，该书重新唤回了他对科学的热情。当年，法国处于一个政治恐怖状态，许多有反政府意向的人被捕入狱甚至处死。母亲担心安培的安全，将他送到里昂郊外的 Polémieux 小镇居住。在那里，安培和女管家的女儿茱丽·卡荣（Catherine Julie Carron, 1773–1803）相处渐熟，最后成为情侣。

1795 年，安培自己学习了约瑟夫-路易·拉格朗日（Joseph-Louis Lagrange, 1736–1813）的《分析力学》（Mécanique analytique），并把书中的计算全部验算了一遍。那些年，安培的思维非常活跃和开放，除了数学之外，他的兴趣还涉及理论力学、实用机械、语言学、音乐、天文学、植物学和系统分类学。他的缺点是没有能够专注于任何一个特定的领域以发挥自己全部的天赋才能，不然的话后面的故事也可能会被全部改写。

1797 年，法国政府开始为公立学校招聘教师。茱丽劝安培去应考，结果他一考便中。11 月，他成为了里昂中央理工学院（École Centrale Lyon）的数学老师。

1799 年 8 月，安培与茱丽结了婚。年后茱丽产下一个男孩 Jean-Jacques（1800–1864）。这儿子后来成为颇为出名的哲学家、文学家、法兰西学院（Collège de France）的历史学教授和法国科学院院士，不过那是后话。茱丽知道安培喜欢女儿，便领养了一个女婴。随后，安培的母亲与茱丽的母亲也搬来与他们同住。很快，安培就觉得经济拮据了。

1802 年 2 月，安培应聘前往工资较高的布雷斯地区布尔格中央学院（École Centrale in Bourg-en-Bresse）担任物理教师。该校离家较远，他只能周末搭车回家。安培在家时四体不勤，现在独立生活便颇为狼狈了。他在给妻子的一封信中写道：“原来做饭比物理学更难，弄得我筋疲力竭。”

不过，安培是个优秀的教书匠，特别擅长将知识分类授课。他在物理讲义上写道：“物理学分为三个领域：天文物理—宇宙万有引力定律的呈现；机械物理—物体的运动与平衡；化学物理—物质的基本组成与反应。”他说物理学是“以最少的法则去解释宇宙间物质世界最多现象的科学”。后来，他的讲义被法国教育主管部门当做高等教材的范本。

1802 年 4 月，安培向法国科学院提交了一篇关于博弈的数学论文，次年正式发表。同年，他还发表了一篇关于变分法在力学中之应用的文章。

1803 年 2 月，无学历的 28 岁安培在布尔格中央学院被晋升为物理学教授。

这一年，正当安培的教学科研工作一帆风顺的时候，妻子茱丽患上了癌症，并且病情迅速恶化。她在给安培写的一封信上痛苦地说：“我已经品尝了人生最珍贵的体验——我们彼此成为对方的最爱，那确实是我们一生中最快乐的时光……未来，无论如何，你必须在两个孩子身上花更多的时间，孩子们需要你做他们的榜样。你必须说服自己，没有一件事情比照顾孩子更重要。我期待能够继续成为你与两个孩子之间沟通的桥梁，但是我生命的尽头已经到来，以往的强壮体力和旺盛活力已经离我远去。”安培收信后大吃一惊，连忙赶回家里，但茱丽已病入膏肓。7月13日，茱丽病逝。悲痛的安培在日记里写下了一段圣经诗篇中向上帝祷告的文字，留下了当时的心情记录。

之后，安培变得十分消沉，常常怀着当时没能在身旁照顾妻子的内疚。他于是不问世事，潜心做学术研究。期间，他发表了几篇概率论和数学分析的论文。

1804年，他到了位于巴黎的国立科技工艺学院（Conservatoire national des arts et métiers）教授数学。其时拿破仑当政，该校主要为拿破仑军团训练军官。当年，拿破仑要求他的军官们除了会带兵打仗，还要懂数学。因此，该校聘用了皮埃尔-西蒙·拉普拉斯（Pierre Simon Laplace, 1749–1827）、拉格朗日和约瑟夫·傅里叶（J. B. Joseph Fourier, 1768–1830）等一批著名数学家。安培能在那里获得一个职位，学术贡献和能力自然不同凡响。那些年，安培发表了几篇很有分量的偏微分方程论文。

1806年8月，安培和新女友让娜-弗朗索瓦丝·波托（Jeanne-Françoise Potot, 1778–1866）结了婚。但那是个不幸的婚姻。次年，妻子产下女婴Albine（1807–1842）之后随即向法庭申请离婚。1808年4月，两人正式离婚。之后，安培把母亲接到巴黎照顾年幼的子女。可是一年后，母亲病逝。安培只好自己搬到学校宿舍独居，另外请佣人照顾两小孩。

经受不起接二连三的悲惨命运打击，安培思想和感情大变，开始生活放荡不羁。他甚至试图自杀，只是没有成功。他后来在日记中痛苦忏悔：“我能做什么去弥补那些过错呢？我所做的一切是何等邪恶。”

1807年，安培成为国立科技工艺学院的数学教授。当年，拉普拉斯对安培非常器重，推荐他为法国科学教材审查委员。1808年，安培被任命为法国帝国大学（Université impériale）教务总监，同时负责督管全国大学教育工作。

1809年，安培到了巴黎理工学院（École Polytechnique）任职数学教授。在那里，安培和奥古斯丁-路易·柯西（Augustin-Louis Cauchy, 1789-1857）成为同事，两人分担了数学和力学课程的教学。

1814年，安培当选为法国科学院院士，并被选为帝国大学数学部委员。

1819年和1820年，安培到了巴黎大学，主要讲授哲学和天文学课程。

【二】

1820年7月，丹麦物理学家、化学家汉斯·奥斯特（Hans C. Ørsted, 1777–1851）在法国《化学与物理学年鉴》（Annales de Chimie et de Physique）上发表了著名论文“电流对磁针影响的实验”，报告了他关于电流磁效应的发现。英国皇家学会敏锐地意识到该发现的重要科学意义，同年便授予他一枚崇高的科普利奖章（Copley Medal）。

法国物理学界长期信奉他们杰出物理学家查尔斯-奥古斯丁·德·库仑（Charles-Augustin de Coulomb, 1736–1806）关于电和磁没有关系的信条。奥斯特的发现极大地震撼了法国物理学界。物理学家弗朗索瓦·阿拉戈（François J. D. Arago, 1786–1853）8月份在瑞士听到奥斯特的发现后立即赶回法国，9月11日向法国科学院报告了奥斯特实验的细节。安培听了阿拉戈的报告后，第二天就重复了奥斯特的实验。

安培还做了一个简单巧妙的实验。他使用两条平行的导线，把一条固定在底座，另一条以支架悬挂在空中并连接到一个旋转轴承上。他让支架的长度可作伸缩以控制两条导线之间的距离。安培用这个装置测量了导线在空中的平移及旋转运动，从而计算出两条导线在通电时的相互作用力。

9月18日，安培向法国科学院报告了他发现的第一条电磁规律：电流的方向和它产生磁感线的方向服从右手定则。具体地说，用右手握住通电的导线，让大拇指指向电流的方向，那么其余四指的指向就是磁感线的环绕方向。这就是安培右手螺旋定则。后来安培还发现了第二定则：用右手握住通电螺线管，让四指指向螺线管里电流的方向，那么大拇指所指的一端便是通电螺线管所产生磁场的北极方向。

10月2日，安培在法国科学院做了非常著名的“直线电导线之间的电动力”演讲。他指出：“当两条导线上的电流方向相同时，导线互相吸引；反之，当电流方向相反时，导线互相排斥。其吸引力或排斥力与导线之间距离的平方成反比”。这就是今天熟知的“安培定律”。

同年，即1820年，安培把上述报告的结果综合成文发表在《化学与物理年鉴》上，其中特别详尽地论证和解释了安培定律。

后来，安培还在实验的基础上发明了一个探测和量度电流的仪器。该仪器几经他人改进后成了今天的电流计。

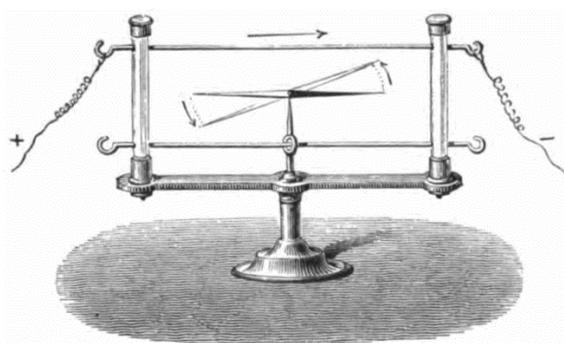


图3 安培的电磁实验（示意图）

1821年，英国物理实验家迈克尔·法拉第（Michael Faraday, 1791–1867）给安培寄来了他关于电磁感应旋转效应的详细实验记录，这些资料促使安培思考为什么线性导体运动倾向于遵循环形路径。在实验和分析的基础上，安培作出结论说，构成磁体的分子内部存在一种环形电流，称为“分子电流”。由于分子电流的存在，每个磁分子成为小磁体，两侧相当于两个磁极。在通常情况下，小磁体的分子电流取向是杂乱无章的，因此它们产生的磁场互相抵消，总体上对外不显磁性。但受到外界磁场作用后，分子电流的取向变得大致相同，于是它们的综合效果显示出宏观磁性。当年，很多人都不接受安培的分子电流理论，法拉第也认为没有证据支持安培的假设。不过，安培的理论依然拥有一批支持者，包括德国电磁物理学家威廉·韦伯（Wilhelm E.

Weber, 1804–1891)。约一个世纪之后, 1915 年爱因斯坦和荷兰物理学家万得尔·德·哈斯 (Wander J. de Haas, 1878–1960) 以“爱因斯坦–德哈斯效应”证明了安培假说的正确性。

1822 年, 安培出版了一本小册子《电动力学的观察汇编》(Recueil d'observations électrodynamiques), 首次提出了“电动力学”的概念。其中, 安培还建议用数学正负号来表示电流的方向, 开启了科学界以正负号来表示物理移动方向的描述方式。

1824 年, 安培担任法兰西学院实验物理学讲座教授。

1826 年, 安培出版了名著《电动力学现象的数学理论》(Mémoire sur la théorie mathématique des phénomènes électrodynamiques), 综合了他的许多研究成果。麦克斯韦称赞安培的工作是“科学上最光辉的成就之一”, 他说: 安培的“整个理论和实验, 好像是从‘电学牛顿’的脑袋里冒出来的。它在形式上是完美的, 在准确性上无懈可击。它的结论被总结在一条公式中, 所有的现象都可以从中推导出来。它将永远是电动力学最基本的公式。”安培被后人尊称为“电动力学之父”。

安培 1825 年当选为比利时皇家科学文学与艺术学院外籍院士, 1827 年当选为英国伦敦皇家学会外籍院士和德国柏林科学院外籍院士, 1828 年当选为瑞典皇家科学院外籍院士。

【三】

除数学和物理之外, 安培也研究化学。

1810 年, 安培研究了氟酸。他当时虽然无法提纯氟, 但认定那是一种新元素, 并取其名为“氟”(fluorine)。多年之后, 到了 1886 年, 法国化学家亨利·莫桑 (F. F. Henri Moissan, 1852–1907) 使用安培曾经推荐的电解法分离出了氟并因之获得了 1905 年诺贝尔化学奖。

1813 年, 安培从海带中提纯出一种新物质。开始时他不知道那是什么, 但与英国著名化学家汉弗莱·戴维 (Humphry Davy, 1778–1829) 和法拉第进行了相应实验后, 发现那是由一种新元素组成的物质, 安培把该元素命名为“碘”(iodine)。

安培继而通过元素的原子量以数学方式推导出其原子组成的晶体结构。由此, 他又开创了晶体物理化学的研究方向。

1816 年, 也就是俄罗斯化学家德米特里·门捷列夫 (Dmitri Mendeleev) 发表他的元素周期表的半个世纪之前, 安培就提议根据化学性质对当时已知的 48 种元素进行分组。安培说: “在我看来, 人们应该努力消除化学中的人为分类, 而通过将每个元素与其他元素进行连续性比较, 给每个元素在它们的自然排列顺序中分派一个位置。”当年, 他虽然犯了一些错误但分组基本上是成功的, 尽管并不全面: 碱金属有钠和钾; 碱土金属有镁、钙、锶和钡; 卤素有氯、氟和碘。

1816 年, 安培给当时极富盛名的法国化学家克劳德-路易斯·贝托莱 (Claude-Louis Berthollet, 1748–1822) 写了一封 43 页的长信, 表达了他的一个想法: 分子是由空间中点状粒子组成的简单几何实体排列而成的。他认为化学组合是由于那些有一定对称性和规律性的三维几何体, 如平行六面体、六角棱柱、八面体和菱形十二面体所构成, 它们分别对应着包含四个、六个、八个、十二个和十四个分子的结构。安培的这些假

设导出了一些重要的结果，例如只需知道气体的体积便能确定其包含粒子的数量。安培还认为化学反应是这些几何立体结构各种可能的叠加。他把分析的结果归纳在一个表格中，标明要生成某种形状需要的四面体和八面体的数量以及顶点和面的个数。同年，他把这些结果综合成文发表在《化学与物理年鉴》上。不过，他的这个几何理论对化学后来的发展影响不大。

多年之后，到了 1834 年，安培还发表了一篇散文（Essai），独立地表达了和意大利化学家阿梅代奥·阿伏伽德罗（L. R. Amedeo C. Avogadro, 1776–1856）一致的思想，从而有了后来的“阿伏伽德罗-安培定律”：在相同的温度和压力条件下，不同理想气体在相等体积中有相同数量的分子。

此外，安培还是第一位采用德国哲学家康德的观点为物理和化学研究提供哲学基础的科学家。

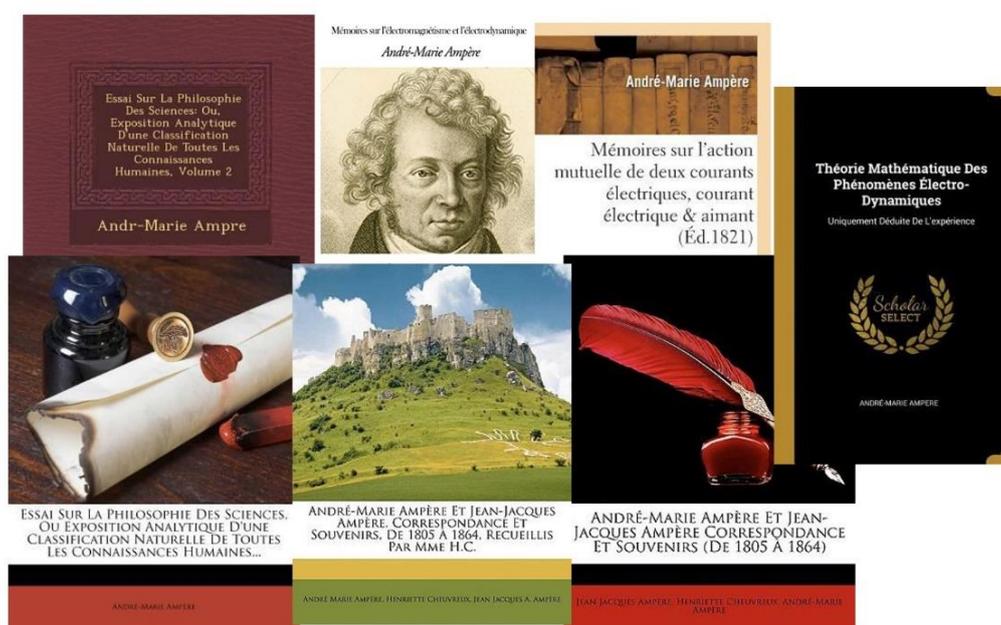


图 4 安培著作选示

【四】

1828 年，安培生了一场重病。病愈后，他辞去了大学的教职，把时间花在全国各级学校的教育督导工作上。他在 1834 年出版的《科学哲学论文》（Essai sur la philosophie des sciences）里谈到了科学教育的系统性。他写道：“科学教育的目的不只是去了解大自然，而且在于唤醒人性知道自身存在的价值……为此目标，科学教育应旨在培养学生观察、分析、实验与综合这四种能力，让他们悟性提高、知识更新。”

1836 年 6 月初，安培以大学学监的身份外出巡视工作，不幸途中染上急性肺炎。10 日，他因医治无效在马赛（Marseille）去世，享年 61 岁。他被安葬在马赛，但遗体后来被转移到巴黎的 Montmartre 公墓，和许多其他杰出人物安葬在一起。

作为后话，安培前妻的儿子 Jean-Jacques 和后妻的女儿 Albine 长大后都与父亲的关系极坏，几乎断绝了来往。安培的悲惨人生和他的辉煌科学成就形成强烈的反差。记录表明，安培生前曾选择“终于快乐了”（tandem fèlix）作为他的墓志铭，其心情不言而喻。



图 5 安培石像（法国里昂）

1889 年，法国工程师古斯塔夫·埃菲尔（A. Gustave Eiffel，1832-1923）在巴黎建造了著名的埃菲尔铁塔。他将 72 位著名法国科学家的名字刻在了建筑底部的纪念牌匾上，其中包括有安培。

1976 年，月亮上的一座环形山被命名为“安培山”。

1881 年，在巴黎召开的第一届国际电学大会决定用“安培”作为电流强度的基本单位，简称“安”（Amp）。今天简单地说，1 安培相当于 1 伏特电压施加在 1 欧姆阻抗导线两端时所通过的电流流量。



图 6 安培纪念邮票