



基于物理学史视角的电热与影响因素电压关系的探讨

李 啸

(苏州市木渎南行中学 江苏 苏州 215101)

陆建隆

(南京师范大学教师教育学院 江苏 南京 210097)

(收稿日期:2020-03-01)

摘要:回顾焦耳定律、欧姆定律诞生过程,厘清人类对电流热效应的探索过程,揭示科学研究的艰辛过程和人类对未知世界探索的渐进性,特别是测量工具开发、半定量实验研究等,以期考证电热 Q 与电压 U 之间的溯源。

关键词:焦耳定律 物理学史 电热 Q 与电压 U

在纯电阻电路中,电功的公式为 $W=UIt$,电热公式为 $Q=I^2Rt$,由于 $Q=W$,电热的公式也可以表示为 $Q=UIt$ 或 $Q=\frac{U^2}{R}t$,公式中出现了影响因素电压 U ,在焦耳定律诞生之前,为什么焦耳没有直接从研究电热 Q 与电压 U 的关系着手,而是研究了电热 Q 与电阻 R 和电流 I 的关系,这里蕴含了怎样的研究历程?电热 Q 与电压 U 的关系有着怎样的历史渊源?不妨以史为鉴,探寻两定律之间的内在逻辑关系,揭开疑团。

1 追本溯源——探寻历史真相

1.1 两定律诞生的时代背景

19世纪初,欧洲掀起了电学研究热潮。1800年意大利物理学家伏打(A. V. Volta, 1745—1827)递送给英国皇家学会的一封信中描述了伏打电池的设计原理,为电学研究奏响音符。伏打电堆是干电池的雏形,但缺陷也非常明显,当时的科学家却不知道其内部电动势不稳定且存在电极极化问题。

在最初的几年,意大利的罗迈诺西(G. D. Romagnosi, 1761—1835)、德国的哈切特(J. N. P. Hachette, 1769—1834)与合作者笛锁米斯(C. B. Desormers, 1777—1862)、英国的戴维(H. Davy, 1778—1829)均用电堆开展了相应实验,未研究出

成果,直到1820年,丹麦物理学家奥斯特(H. C. Oersted, 1777—1851)利用小伽伐尼电池发现了电生磁现象。奥斯特被邀请到法国做学术演讲并现场演示实验,引起安培(A. M. Ampère, 1775—1836)、阿拉果(D. F. J. Arago, 1786—1853)等人的极大兴趣,这些科学家迅速地投身于电与磁之间联系的研究。安培做了分子电流的假说,提出电学分为“电磁学”和“电动力学”两个分支,其搭档阿拉果在安培的建议下做了通电螺线管磁化钢针实验^[1]。英国皇家学会会长沃拉斯顿(W. H. Wollaston, 1766—1828)对奥斯特的实验也很感兴趣,提出“电磁转动”设想,认为通电螺线管附近的导线会绕轴发生转动,在1821年9月,英国物理学家法拉第(M. Faraday, 1791—1867)实现设想,发明了世界上第一台直流电动机雏形,如图1所示。

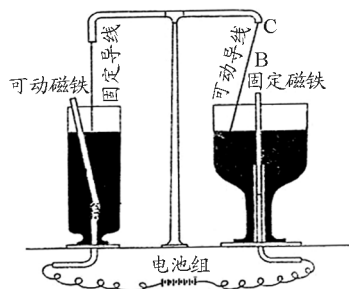


图1 法拉第电动机雏形

1.2 欧姆定律的提出与沉沦

德国物理学家欧姆 (Georg Simon Ohm, 1789—1854) 于 1817 年开始研究电学, 1821 年德国科学家施魏格尔 (S. C. Schweigger, 1779—1857) 和波根道夫 (J. C. Poggendorff, 1796—1877) 利用通电螺线管发明了简易电流计 (倍增器), 欧姆改进电流计为扭力秤, 如图 2 所示, 用 c 上方放大镜观察磁针在电流磁场中偏转的方向并加以刻度描述, 欧姆就用磁针偏转的角度来间接描述电流。

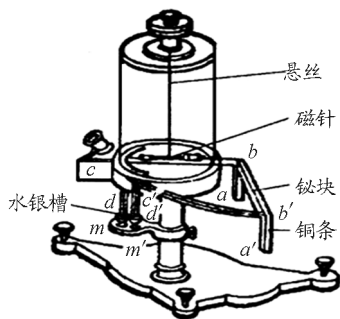


图 2 欧姆改进的扭力秤

在波根道夫建议下舍弃伏打电堆, 换用电动势极其稳定且可调的温差电偶, 如图 3 所示, 将铍铸成 U 形框架 $aba'b'$ 与左侧铜支架铆合, 支架左端分别浸入图 2 中 m 和 m' 的水银里, 在 m 和 m' 中放置实验导体, 将 ab 端插入装有沸水的 A 筒内, $a'b'$ 端插入装有冰水混合物的 A 筒内, 提供 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温差^[2]。欧姆选用了 8 根直径相同、长度不同的镀铜铁线, 于 1826 年 1 月先后进行了 5 次实验, 记录磁针盘转角为 $326\frac{1}{2}^{\circ}$, $300\frac{3}{4}^{\circ}$, $277\frac{3}{4}^{\circ}$, $238\frac{1}{4}^{\circ}$, ... 通过计算得到公式

$$X = \frac{a}{b+x}$$

式中 X 为电磁力, 实际上就是电流, a 决定于温差电动势, b 决定于温差电源的内部阻抗, x 为实验导体长度。1826 年 4 月, 欧姆修改了公式

$$X = \kappa S \frac{a}{l}$$

令当量长度

$$l' = \frac{l}{\kappa S}$$

代入公式, 化为

$$X = \frac{a}{l'}$$

即为如今欧姆定律形式^[3]。然而提出后没有立即得到德国电学界的承认, 德国电学家重复欧姆实验用的是化学电源, 不能得到精确结论, 欧姆定律是否适用于一切电路 (包括电解质电路) 未知。德国电学家忙于电动势争论, 无暇顾及欧姆定律, 就这样到 1831 年英国还没有人知道欧姆定律, 直到 1840 年初, 惠斯通 (C. Wheatstone, 1802—1875) 将欧姆定律引入电桥测量理论, 英国皇家学会才注意到欧姆的成就。

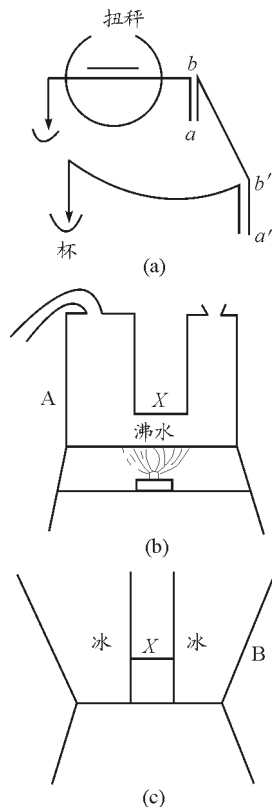


图 3 探究欧姆定律的实验装置

1.3 焦耳实验的半定量描述

1818 年 12 月 24 日, 物理学家焦耳 (J. P. Joule, 1818—1889) 出生于英国曼彻斯特市附近的索尔福德富商家庭, 父母经营一家酿酒厂。1832 年焦耳被父亲送到曼彻斯特文学与哲学学会学习, 得到英国著名化学家道尔顿 (J. Dalton, 1766—1844) 指导, 1833 年年仅 15 岁的焦耳继承家业, 边经营边学习, 1838 年在酿酒厂里建了一个实验室, 开始初步实验研究。焦耳注意到电机运转摩擦生热, 认为是动力损失原因, 于是开始对电流的热效应进行定量研究^[4]。

1841年焦耳在《哲学杂志》发表题为《关于金属导体和电池在电解时放出的热》论文,论文分两部分,前一部分论述金属导体产生的热,后一部分论述电解热。

从焦耳的论文中可以清晰发现,焦耳并没有使用欧姆改进的扭力秤装置,而是利用奥斯特原理自制了一个电流计。如图4所示,用铜管弯成12英寸长,6英寸宽的长方形,铜管下方放置小磁针。焦耳自定义通过铜管电流大小,以小磁针偏转角度 33.5° 记为1度电流,符号表示为 $1^\circ\text{Q}^{[5]}$,这种每小时能电解9滴水的电流给焦耳实验带来很多方便之处。

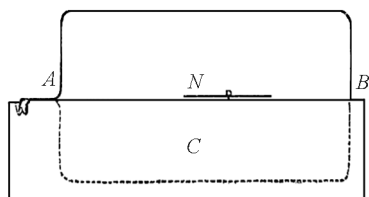


图4 焦耳自制的电流计

焦耳自制了5个金属电阻,前4个为金属电阻(铜丝电阻、铁丝电阻),第5个为水银电阻(将水银装入长0.58 m,直径0.17 m的弯曲玻璃管中),金属电阻缠绕在玻璃管上,如图5所示,金属线圈之间插入棉线以防短路,玻璃罐中盛入一定量的水,焦耳通过长期练习和酿酒师所具备的对温度的敏锐感知,利用温度计能轻松估读到 1°F 的十分之一。焦耳将金属电阻组合串联连接伏打电池,观察水温升高情况,焦耳进行了3次实验,结果如表1所示。

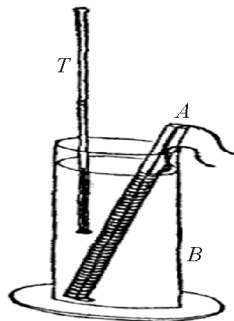


图5 焦耳实验装置

表1 探究 Q 与 R 的关系

串联金属导体实验材料	玻璃罐盛水量/g	电流大小/ $^\circ\text{Q}$	通电时间/h	浸泡 R_1 水温升高情况/ $^\circ\text{F}$	浸泡 R_2 水温升高情况/ $^\circ\text{F}$	测算电阻比值
R_1 (约1.83 m长,直径0.09 cm)铜丝, R_2 (约1.83 m长,直径0.05 cm)铜丝	250	1.1	1	3.4	1.3	$\frac{3.4}{1.27}$
R_1, R_3 (约1.83 m长,直径0.10 cm)铁丝	227.25	1.25	1	6	5.5	$\frac{6}{5.51}$
R_4 (约28.58 cm长,直径0.05 cm)铜丝, R_5 (约0.58 m长,直径0.17 cm)水银	227.25	1.25	1	4.4	2.9	$\frac{4.4}{3}$

焦耳通过实验发现:当一种已知量的伏打电流在已知的时间内通过一段金属导体时,无论该金属导体的长度、粗细、形状或种类如何,其所放出的热,

总是与它的电阻成正比^[6]。

焦耳再用电阻 R_4 ,通电0.5 h和1 h,并记录如表2所示。

表2 探究 Q 与 I 的关系

电流计指针平均偏向/ $^\circ$	以度表示的电流/ $^\circ\text{Q}$	0.5 h产生的热/ $^\circ$	1 h产生的热/ $^\circ$
16	0.43	1.2
31.5	0.92	3	4.7
55	2.35	19.4	
57.7	2.61	23	
58.5	2.73	25	39.6

分析表2中数据,有

$$0.92 \times 0.92 = 0.8464 \quad \frac{3}{0.8464} \approx 3.54$$

$$2.35 \times 2.35 = 5.5225 \quad \frac{19.4}{5.5225} \approx 3.51$$

$$2.61 \times 2.61 = 6.8121 \quad \frac{23}{6.8121} \approx 3.37$$

$$2.73 \times 2.73 = 7.4529 \quad \frac{25}{7.4529} \approx 3.35$$

焦耳分析发现,在误差允许的范围,电阻一定时, Q 与 I^2 近似成正比.

2 两定律间的历史辩证统一关系

首先,两者实验的器材的选取和电流数值记录方式不同,欧姆使用的是电动势极其稳定且可调的温差电偶,而焦耳仍然使用的是最原始的伏打电池,欧姆自制的扭力秤记录电流数值和焦耳自定义的电流值有很大差别,从数据上有力证实欧姆定律并没有在英国推广也没有受到同行焦耳关注.

其次,与温度差、热传导率和流量差相对应,欧姆引入物理量电动势 E ,他最初把它称为电力计力差,但论文得不到德国电学界认同,理论偃息息鼓多年,直到1840年以后才得以公诸于世,在此期间焦耳全然不知电动势概念,何谈焦耳实验从电热与 U 探究?

再次,焦耳和欧姆关注点不同,酿酒师出身的焦耳一直对“热”有着敏锐的直觉,焦耳在实验中仅研究了变量电热与电流,时间控制一定,热量是用升高的温度来半定量描述,电阻计算是通过比较不同材料的长度、横截面积、材料和通的电荷量多少推算得到.焦耳对“热”敏锐直觉一直驱动他准确测量出热功当量,为能量和守恒定律奠定了不可动摇的基础^[7].欧姆出发于电磁力的衰减与导线长度的关系进而演变为电磁力、电动势与阻抗之间的关系.

最后,国际电学大会对电压、电阻和电流等电学物理量单位的统一以及人们对功与能的充分认识,两定律在计算形式上才得以融会贯通.

值得关注的是,两定律研究过程中都涉及到半定量实验,半定量实验研究是指实验研究主体缺乏明确界定或实验参量无法测量,不得不采取其他实验变量替代或测量其中可测参量的研究方法^[8],这

也是科学研究的常用方法.在电学探索过程中,由于科学家对电热 Q 的认识不足,利用“温度差 ΔT ”替代“电热 Q ”的做法虽属无奈,然数据处理得当,“温度差 ΔT ”竟能很好替代“电热 Q ”,得到相应比例关系.半定量实验研究不仅为科研工作者研究复杂情景的实验探究开辟新思路,也能为后续定量实验的验证埋下伏笔.

3 结束语

焦耳没有研究 Q 与 U 一定有历史渊源和时代的局限性,19世纪初电学的兴起,人们对静电学理论已经了如指掌,从伏打电池的问世推动电学由“静电”转为“动电”研究,然而这里蕴含的知识与理论都是未知的,需要电学家们反复实践、摸索并提出自己的猜想,建立模型与创设新的理论,欧姆和焦耳正是顺应时代科技发展洪流中的成员,他们的坚毅、执着与创新的品质令人称赞,他们高超的实验技能与永不向命运低头的精神令人叹服!以史鉴今,不仅是一种尊重事实的科学求实态度,更是一种超越“历史”、创造“未来”的勇气与豪迈.

参考文献

- 1 李艳平,申先甲.物理学史教程[M].北京:科学出版社,2003.187~193
- 2 刘筱莉,仲扣庄.物理学史[M].南京:南京师范大学出版社,2001.184~186
- 3 宋德生.欧姆定律是怎样发现的[J].物理教师,1983(4):37~40
- 4 柳福提,张声遥.科学巨匠——焦耳[J].物理教学,2018(8):76~78
- 5 刘娜,李艳平.焦耳定律的建立[J].物理教学探讨,2008(11):49~51
- 6 J. P. Joule. On the Heat evolved by Metallic Conductors of Electricity[J], and in the Cells of a Battery during Electrolysis. The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, 1841(19):260~277
- 7 李慧龙,刘敏.焦耳与热功当量[J].内蒙古科技与经济,2002(8):136~137
- 8 张国栋,王月.“法拉第电磁感应定律”的半定量实验介绍[J].物理通报,2019(8):98~100