

## 欧姆和他两条几乎夭折的定律

陈关荣

(香港城市大学)

基本电路中的电流、电压、电阻关系式是：电流=电压÷电阻。这就是电学最根本的“欧姆定律”：在常温条件下，通过某段导体的电流跟这段导体两端的电压成正比，跟这段导体本身的电阻成反比。其中，电流的单位是安培（A），电压的单位是伏特（V），电阻的单位是欧姆（ $\Omega$ ）。这个关系式之所以称为欧姆定律而不是安培定律或伏特定律，是因为它由欧姆发现。至于它的单位符号用  $\Omega$  而不用 O，只是因为后者容易和“零”混淆，此外  $\Omega$  即 Omega 的第一个字母恰好是 O。

有趣的是，这个公式非常国际化：伏特（Alessandro Volta, 1745–1827）是意大利物理学家，安培（André-Marie Ampère, 1775–1836）是法国物理学家，而这位欧姆（Georg Simon Ohm, 1789–1854）是德国物理学家。



图1 欧姆肖像

### 【一】

欧姆于1789年3月16日出生在德国巴伐利亚（Bavaria）州埃尔兰根（Erlangen）市的一个新教徒家庭。父亲约翰（Johann Wolfgang Ohm, 1753–1822）是个世袭锁匠，母亲玛莉亚·贝克（Maria Elizabeth Beck, 1763–1799）是一位裁缝师傅的女儿。欧姆在家七兄弟姊妹里是老大，其中四个不幸幼年死亡，留下他和弟弟马丁（Martin Ohm, 1792–1872）及妹妹伊丽莎白（Elizabeth B. Ohm, 1794–1872）。同样不幸的是，母亲在孩子们不到十岁时去世了。

欧姆的父母从未受过正规教育。父亲为人正直勤勉，他通过自学获得颇高水平的数理化知识，足以给予孩子们出色的家庭教育。欧姆 11–15 岁期间在 Erlangen Gymnasium 就读，他在那里受到了比较系统的学识培养和思维训练。欧姆 15 岁那年和弟弟一起接受了埃尔兰根大学的卡尔·冯·兰格斯多弗 (Karl C. von Langsdorf) 教授一次面试。教授发现欧姆兄弟在数学方面有异常出众的天赋，十分感慨地在结论上写道：“从锁匠之家将诞生出另一对伯努利 (Bernoulli) 兄弟”。后来，弟弟马丁成为了柏林军事学院的知名数学教授，而哥哥的故事更精彩但却曲折多了。

1805 年，16 岁的欧姆进入了埃尔兰根大学，修读数学和物理。可是，欧姆在那里并不专心学习，他把大部分时间花去跳舞、滑冰和打桌球。父亲知道后非常生气，第二年便把他送到了瑞士，让他远离那群爱玩的伙伴。欧姆得到一位书商的协助，在 Nydau 市一个牧师开办的学校 Institute of Gottstadt 里当一名数学辅导教师 (tutor)。不久，牧师校长写信给书商推荐人，说：“在第一眼看到这个十八岁小伙子的时候，我不敢相信他就是被你推荐来的老师。但是，我很快就相信了他的特长和能力”。

不过，一年多之后欧姆放弃了该职位而转到了 Neuchâtel 市，在一所私校进修数学和法文课程。这时候，冯·兰格斯多弗教授决定去海德堡 (Heidelberg) 大学任教。教授一直和欧姆保持着联系并敦促他去认真阅读莱昂哈德·欧拉 (Leonhard Euler, 1707–1783)、皮埃尔-西蒙·拉普拉斯 (Pierre-Simon Laplace, 1749-1827) 和西尔维斯特·拉克鲁瓦 (Sylvestre F. Lacroix, 1765–1843) 的数学著作。

1811 年初，欧姆回到了埃尔兰根大学。他于 10 月 25 日以毕业论文《光线和色彩》(Licht und Farben) 获得了哲学博士学位。这时候，他的研究方向仍然是物理学，主要是力学和光学，尤其是彩色光学。虽然他接下来继续修读了一些数学课程，但由于经济拮据，他不得不放弃了对深造数学的追求。

1812 年 7 月 28 日，欧姆写信给巴伐利亚国王路德维希一世 (Ludwig I, 1786–1868)，祈求一个教师的职位。12 月 16 日，国王任命他到班贝格 (Bamberg) 大学学生会当一名辅导教师。可是，他后来在那里过得并不如意，于是又多次写信给国王和当局，要求换个新地方。但这次事不如意，没有结果。

1817 年，欧姆出版了他的第一本书《在预科学校中适当设置几何课程作为高等教育衔接的指南》(Grundlinien zu einer zweckmäßigen Behandlung der Geometrie als höheren Bildungsmittels an vorbereitenden Lehranstalten)。他给巴伐利亚国王寄了一份副本，同时再次恳请国王赐助。皇室作了答复，说国王没能安排时间和他见面，但他的书已经放到图书馆去了。

幸运的是，欧姆还给其他几个在位君主寄去了这本书，包括普鲁士国王弗里德里希·威廉三世 (Friedrich Wilhelm III, 1770–1840)。普鲁士国王对欧姆颇为欣赏。于是，同年秋天，欧姆得到了新的工作，来到当时属于普鲁士的科隆 (Cologne) 市，担任了 Jesuit Gymnasium 的物理和数学高级教师 (Oberlehrer)。在那里，他获得很多的自由时间，特别是该校实验室里充足的物理设备使他能够很好地研究电学。

欧姆于是全心全意地投入到自己喜爱的教学和科研之中。教学方面，他认真上课还积极引导学生向理想人生发展。他因而获得了学校的特别奖励。科研方面，在很长一段时间里，他选择了在数学和物理之间交替地进行探索。当年，虽然他的认真努力几乎没人赏识，而且他意识到自己将永远不会结婚，但是他依然立志献身科学。其时，他的直接目标就是要彻底阐明电路原理。

欧姆首先开始研究电流产生的电磁力的增减与导线长度的关系，并于1825年5月发表了第一篇论文。但是，文中的公式后来被发现是错的，主要原因是由于当年电流测量仪器的不精确和伏打电池电压的不稳定，再加上那时人们还没有电阻的概念，欧姆只是在金属电导率计算的基础上进行他的实验分析。

1826年，欧姆改进了电流检测计并采用了稳定的电源，进而通过更精确可靠的实验导出了一条电学新定律。

1826年4月，欧姆意识到如果能够完全摆脱教学的束缚，他就会有足够的时间来建立一个完整的电路基本理论。年轻的他相当自负，对此深信不疑。于是，他非常礼貌地向学校提出申请并获得了批准，让他休教一整年。他离开了科隆，来到柏林弟弟的家。欧姆在这一年休整中最重要的成果是于1827年5月在柏林出版了新书《电流的数学计算》（*Die galvanische Kette, mathematisch bearbeitet*）。该书综合整理了他在1825年和1826年发表的两篇论文并完整地描述了他发现的那条电学定律。欧姆的这本重要著作后来在1841年被译成英文，1847年译成意大利文，1860年译成法文。

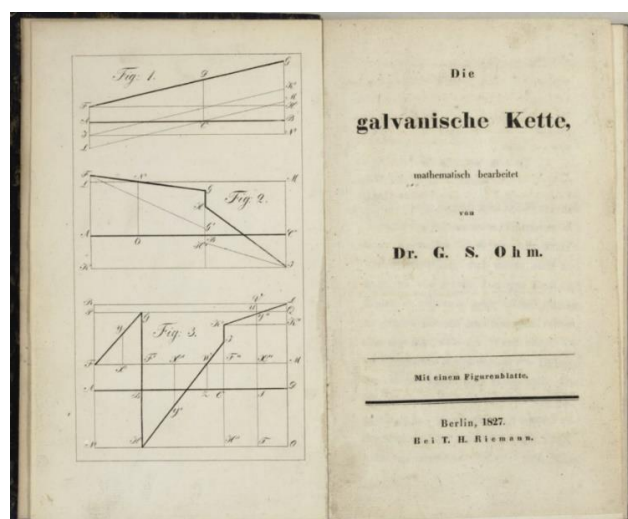


图2 欧姆1827年出版的书《电流的数学计算》

欧姆在书中正式引进了“电阻”的概念并详细地描述了他那个崭新的电学定律。然而，这个“欧姆定律”问世时形格势禁、举步为艰。虽然定律很快就得到了实验物理学家古斯塔夫·费希纳（Gustav T. Fechner, 1801–1887）、约翰·普法夫（Johann W. A. Pfaff, 1774–1835）和约翰·波根多夫（Johann C. Poggendorff, 1796–1877）的验证和支持，但在其他一些物理学家中却遭遇到截然相反的回。路德维希·卡姆兹（Ludwig F. Kämtz, 1801–1867）率先提出了较为温和的批评，接下来格奥尔格·泊尔（Georg F. Pohl, 1788–1849）表示了强烈的反对。泊尔甚至在《科学批判年鉴》（*Jahrbücher für wissenschaftliche Kritik*）中刊文猛烈抨击欧姆提出的概念和定律，至使欧姆不得不作出强硬的回应。

当时出现强烈反对意见的缘由，一方面是因为欧姆写下的数学分析相当复杂凌乱，没能把他的想法清晰地表达出来，另一方面是欧姆的结论与当时物理学界公认的常识相悖，即电池产生的电流与电势无关。冲突是如此的激烈，以至物理学界一些同行的友谊和合作关系破裂，更令欧姆极端沮丧。欧姆最后放弃了在科隆的工作职位，于1827–1833年间隐退归乡，不再理睬各种言论和批评。其时，他的生活穷困潦倒。

1833年，巴伐利亚国王路德维希一世在需要用人时想起了欧姆，随即任命他为纽伦堡（Nuremberg）理工学院物理学教授。这一举措让欧姆的工作和生活重归正传。1835年，欧姆被委任为巴伐利亚科学教育督察并兼埃尔兰根大学高等数学系主任。

欧姆的书在1827年出版之后，“欧姆定律”在他本人并不知晓的情况下经受了多种形式的检验。1831–1837年间，法国索邦（Sorbonne）大学的物理学家克劳德·普耶（Claude S. M. Pouillet, 1790–1868）通过多种实验有效地证明了这个定律的正确性。据说当年普耶做实验是如此专注，以至最后他几乎以为是自己发现了这个定律。

在那场历时十多年关于欧姆定律的激烈争论中，尽管欧姆本人后来放弃了参与其中，但他从未表示认输。事实上，欧姆最后还是胜利了，只是过程来得颇具戏剧性。

故事要从英国电气工程师威廉·斯特金（William Sturgeon, 1783–1850）说起，他因1825年发明电磁铁而出名。1836年，斯特金创办了一个杂志《电学、磁学和化学年鉴》（Annals of Electricity, Magnetism and Chemistry），并于1837年发表了旅居德国的俄罗斯工程师莫里茨·雅可比（Moritz H. Jacobi, 1801–1874）所写的一篇关于电动机文章的译文。这位工程师的弟弟是著名的数学家卡尔·雅可比（Carl G. J. Jacobi, 1804–1851），他为哥哥写了一篇关于电动机数学理论的注记。文中，他清晰地描述并运用了欧姆定律。他写道：“欧姆先生建立的理论……提供了如此的简单性，而且它和我对伏打电池所有现象的理解一致，因此我毫不犹豫地采用了它。”

1838年，伦敦国王学院教授、皇家学会院士查尔斯·惠斯通（Charles Wheatstone, 1802–1875）作为英国科学促进会的编辑委员会成员主持翻译出版了欧姆1827年那本著作。该译本让许多英国科学家开始熟悉、支持甚至钦佩欧姆及其定律。后来，惠斯通在讲解他著名的“惠斯通电桥”时明确地说：“我所描述的仪器和过程都是建立于欧姆在他关于伏打电池机理中创立的原则上的，那是一个完整漂亮的理论。”

1841年，欧姆的最后胜利终于来到了。伦敦皇家学会授予他作为该学会最高科学奖的一枚科普利奖章（Copley Medal），表彰他对电学新定律的发现。颁奖委员会一锤定音，正式宣布是欧姆首次确立了这个非常重要的电路基本定律。翌年，伦敦皇家学会还遴选他为外籍院士。

值得一提的是，伦敦皇家学会把他们的这个最高科学奖先后授于电路基本定律的三个主角：意大利人伏特（1794年）、法国人安培（1820年）和德国人欧姆（1841年），其中并没有英国人。

事实上，这个科普利奖章是一个国际性的大奖。它的含金量有多高呢？不妨来看一份按年份先后排列的知名获奖科学家和数学家名单：富兰克林、卡文迪什、戴维、法拉第、高斯、韦伯、达尔文、焦耳、冯·亥姆霍兹、西尔维斯特、凯利、凯尔文勋爵、赫胥黎、斯托克斯、魏尔斯特拉斯、雷利勋爵、吉布斯、门捷列夫、华莱士、克莱因、巴甫洛夫、卢瑟福、爱因斯坦、霍普金斯、普朗克、玻尔、摩根、哈代、狄拉克、李特伍德、阿蒂亚、霍金、罗伯特·梅、希格斯、威尔斯、古迪依纳夫，等等。

从此，欧姆定律被正式确立，它适用于所有纯电阻类型的电传导系统，包括金属和电解液。并且很快，它的实用性便进入了更为广泛的电气工程领域，首先从金属导体扩展到电解质，然后到电介质，再到电弧线，最后到热离子管。而且，通过数学推导，电感、电容、电阻三者统一到了欧姆定律之下。当然，后来知道，在极低温下以及在气体和半导体等介质中欧姆定律并不成立，不过这与本文的故事无关。



图3 欧姆使用过的实验仪器（德国博物馆）

欧姆定义的电阻自然是“正电阻”。但是，物理学家马上就想到了其反面。1896年夏天，英国学术界发生了一场关于电弧线中是否存在“负电阻”的热烈讨论。这次辩论是由作为反方的英国皇家学会院士、电气工程师西尔瓦努斯·汤普森（Silvanus P. Thompson, 1851–1916）在伦敦物理学会的一次会议上发起的，但受到代表正方的另一位英国皇家学会院士、电气工程师威廉·艾尔顿（William E. Ayrton, 1847–1908）的强烈反驳。在双方团队经过几周争持不下的辩论之后，会议作出决议将此事提交给威望极高的数学家、物理学家和电器工程师奥利弗·海维赛（Oliver Heaviside, 1850–1925）来评判。7月28日，海维赛做出了如下的裁决：

有人问我对负电阻的看法。我的意思很简单，如果一个物体真正遵循欧姆定律，电压  $V = RI$ ，和焦耳定律，热量  $H = I^2Rt$ ，但电阻  $R$  是负数而不是正数，那么它就是负电阻。某些论文关于电阻（和其他量）为负值时所产生之影响的讨论引起了我的注意，其中的论证都很有趣而且具有启发性。但由于它们普遍的不稳定性，我对物体中存在永久负电阻的可能性没有任何信心。不过，我并不打算否定一种物质在适当的情况下可能会暂时地表现出近似的负电阻，特别是当它处于持续物质变化的状态时。……至于是否可以方便地从这个角度来看待电弧线，这不是我能够说的，因为我对电弧线的了解不够。

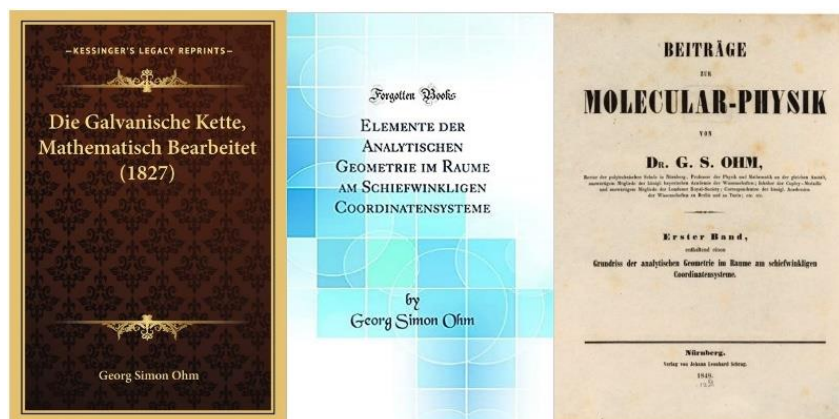


图4 欧姆的三本主要著作

欧姆在完成了他的电学新定律研究工作之后，便把注意力转向了分子物理学。

1845年，欧姆当选为巴伐利亚科学院院士。他与纽伦堡理工学院保持联系直至1849年，其间还担任过校长。1849年，他被巴伐利亚国王马克西米利安二世（Maximilian II, 1811–1864）任命为慕尼黑（Munich）大学物理学教授，同时被巴伐利亚科学院任命为数学和物理部部长。此外，他还担任了国家电报开发项目顾问。这些多重的职责使欧姆无法继续他的分子物理学研究。1849年，作为阶段性研究成果的总结，欧姆出版了《对分子物理学的贡献》（*Beiträge zur Molecular-Physik*）一书。1852年，欧姆被晋升为慕尼黑大学物理学讲座教授。

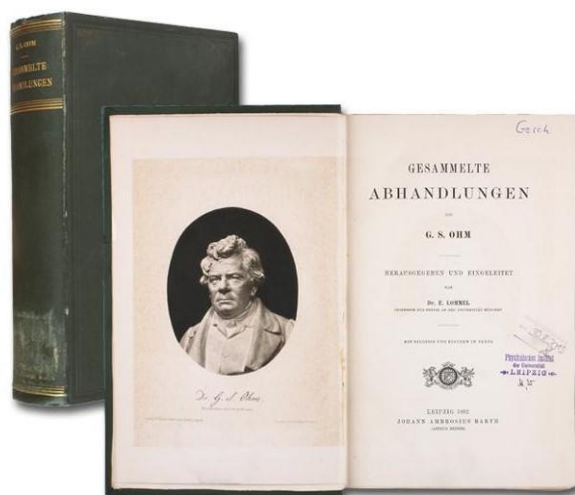


图5 《关于欧姆的综合分析》（1892）

1892年，慕尼黑大学教授、诺贝尔物理奖得主尤金·冯·洛梅尔（Eugen C. J. von Lommel, 1837–1899）编辑出版了题为《关于欧姆的综合分析》（*Gesammelte Anhandlungen von G. S. Ohm*）一书，收集整理了欧姆三十多年间的主要研究成果，共23章，855页。该书的内容所涉及的对象相对较少，但介绍是完整和彻底的。它向世人展示：欧姆从一开始目标就很明确，他决心建立金属导体中关于电流的定律。欧姆还研究了为金属导体确立的电流规律是否也适用于液体的问题并得到了肯定的答案。

## 【二】

欧姆的其他一些科学贡献也值得大书一笔。

1822年，约瑟夫·傅里叶（J. B. Joseph Fourier, 1768–1830）出版了他的名著《热分析理论》（*Théorie analytique de la chaleur*）。该书恰逢其时地影响了欧姆。欧姆认为傅里叶和西蒙-丹尼斯·泊松（Siméon-Denis Poisson, 1781–1840）的热传导方程也可用于电的传播，并写下了它们相应的微分方程式。后来，詹姆斯·麦克斯韦（James C. Maxwell, 1831–1879）对欧姆的这项工作给予了充分的肯定，但他认为欧姆将电与热作类比是不恰当的。不过，麦克斯韦指出，虽然欧姆的观点本身是错误的，但他利用傅里叶方程来表达通过长导线的导电定律的结果倒是正确的。海维赛也

赞同麦克斯韦的观点，并解释说：“为什么欧姆能用错误的方法得出正确的结果呢？原因很简单：无论电是储存在电线的物质内部，还是到达电线表面并停留在那里，它们的方程形式都是完全相同的。”

欧姆还花费了许多时间试图去解释柏林大学物理学教授阿道夫·埃尔曼（J. P. Adolf Erman, 1854–1937）关于“单极”（unipolar）导体的实验，即只有“正极”或“负极”的导体的存在性问题。欧姆声称通过实验他发现了一类完美的导体，它们比其它导体更容易传输电流。例如，他在一块非常干燥的碱性肥皂中引入两根金属线，每根金属线分别与电池的一个电极相连。他发现当肥皂与导电体接触时，负极就会放电；当肥皂被移开并将负极接地时，正极就会获得一个相应的电位。他对磷火、酒精火焰以及其他一些火焰的实验都发现了同样的结果，只不过观察到的是正极在火焰中放电。为此，他引入了“单极正”和“单极负”两个术语。1830年，欧姆把对这个问题的研究写成论文发表在《化学年鉴》（*Jahrbuch der Chimie*）上。

由于各种原因，整个欧洲关于这一主题及相关论题的文献在很长一段时间里复盖了很多杂志的版面。1838年，法拉第在《实验研究》（*Experimental Researches*）上也认真地讨论了单极体，但是他指出：

如果存在一个单极体，即一个可以传导一种电而不能传导另一种电的单极体，那么我们可以期待这类单一电流会有许多新颖的特征。它们应该非常特别，不仅与普通电流不同，因为这样的话普通电流应该有两种不同电流同时从相反的方向以相等的量进行传播，而且彼此之间也不同！然而，安托尼·贝克勒尔（Antoine C. Becquerel, 1788–1878）、汤姆斯·安德鲁斯（Thomas Andrews, 1813–1885）和其他一些人已经逐步地对此类非凡的事实给出了更正确的解释。我知道欧姆教授在对所有现象的仔细检查中已经完善了这项工作。不过，他在证明优良导体上可以发生类似现象之后，其实还证明了肥皂等许多效应只是电解作用演化的结果罢了。

自此之后，有关单极导体的研究便逐渐消声匿迹了。

那些年，欧姆又正确地发现了导体的电阻与其长度成正比，与其横截面积和传导系数成反比；以及在稳定电流的情况下，电荷不仅在导体的表面上而且在导体的整个截面上运动。不过，当年人们并未意识到欧姆的这些发现为后来无数电力传播相关问题提供了理论基础。

还有值得提及的，是欧姆对声学的贡献。欧姆于1839–1843年间在《物理化学年鉴》（*Annalen der Physik und Chemie*）发表了几篇声学论文。他的研究导致了一个关于组合音调定律的建立。欧姆指出，人耳是通过该定律来进行声音分析的。他认为，耳朵只能从空气的特定运动中获得音调的感觉，而空气中的颗粒都像钟摆一样在振荡。这个“欧姆声学定律”统一了当时人们对声学的混乱理解，而且它对后来物理科学的许多应用和发展所产生的影响随处可见。然而，欧姆的声学定律由于数学表达的含糊不清遭到了德累斯顿（Dresden）理工学院物理学家奥古斯特·塞贝克（August L. F. W. Seebeck, 1805–1849）的强烈抵制。欧姆因数学表达中的一些错漏被证实，最后自己作罢。此后，直至欧姆去世后八年，这个定律几乎完全被人们遗忘了。到了1862年，赫尔曼·冯·亥姆霍兹（Hermann L. F. von Helmholtz, 1821–1894）在他的著作《论音调的感觉作为音乐理论的生理基础》（*Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage*）中成功地用欧姆的理论来解释了泛音与音乐的关系，于是重新唤起人们对欧姆声学定律的关注。冯·亥姆霍兹在书中指出，根据欧姆的定律，与音乐中音调的组合相对应的空气的每一运动都能够被分解为简单振动的总和，

并且每个这样的简单振动都对应着一个简单音调。耳朵对之敏感的，正是由空气相应运动的周期时间确定的这些音调。冯·亥姆霍兹的这本名著让欧姆声学定律死而复生。

最后，有几个以欧姆命名的物件和术语也值得提及。

除了众所周知的测量电阻用的“欧姆表”（Ohmmeter），还有其它一些“欧姆器件”（Ohmic device），它们是各种遵守欧姆定律的器件。

“欧姆接触”（Ohmic contact）是两种导体之间一种非整流电结，具有符合欧姆定律的线性“电流-电压”曲线。低电阻的欧姆接触允许电荷在两个导体之间往两个方向流动，而且不会由于整流或者电压阈值而导致过度功耗甚至遭到阻塞。

“欧姆加热”（Ohmic heating），也称为焦耳加热或电阻加热，是让电流通过食品或其他材料从而对它们加热的过程。

“欧姆杀菌”（Ohmic sterilization）是采用电极将 50–60Hz 的低频交流电直接导入食品物料进行欧姆加热而达到杀菌的效果。采用欧姆加热杀菌可获得比常规方法更快的加热速率，缩短加热杀菌时间，并得到更高品质的产品。

### 【三】

1854 年 7 月 6 日，尽管欧姆当时身体不适，他还是参加了一个学术会议并作了演讲。当晚，他意外中风在家去逝，享年 65 岁。他被埋葬在慕尼黑市郊的 Sudliche Friedhof 公墓坟场。

纵观欧姆的一生，他在多方面的科学贡献极其巨大，其实用价值是不可估量的。欧姆毕生的科学研究态度更值得后人学习和仿效。归纳起来说，他做研究总是遵循这样一些思维原则：实验所证明的真理是不可否认的，而基于假设的论断只有在被观测证实了的情况下才应当被接受；在理论能够以精确的计算形式展示之前，它是不可靠和不完美的，因而数学计算是检验理论假设的试金石。他的实验宗旨是：如果尚未得到精确测试的结果，最好推迟判断作结，直至获得极好的数据支持。



图 6 欧姆塑像（慕尼黑理工大学校园）