科学巨匠亥姆霍兹

陈关荣

（香港城市大学，2020. 7. 23）

德国物理学家赫尔曼·冯·亥姆霍兹（Hermann von Helmholtz, 1821.8.31–1894.9.8）是十九世纪科学界灿烂群星中特别光彩夺目的一颗。

亥姆霍兹知识渊博，一生中涉猎过许多不同领域并作出了重要贡献，其中包括医学、生理学、化学、数学、哲学，特别是物理学。事实上，他还被誉为是“最后一位博学家”（"The last polymath", *Nature*, 13 Sept., 2018）。

在物理学领域里，大家耳熟能详的有亥姆霍兹电磁场定理、亥姆霍兹波动方程、亥姆霍兹涡量方程、吉布斯—亥姆霍兹方程、亥姆霍兹—克希霍夫方程、亥姆霍兹函数、亥姆霍兹自由能、亥霍姆兹线圈、亥姆霍兹共鸣器、亥姆霍兹双电层、杨—亥姆霍兹三色学说、亥姆霍兹—克特勒公式、亥姆霍兹分解。以亥姆霍兹为主要创始人和领导者的柏林热物理学派对量子力学的诞生功不可没。他自己无缘诺贝尔奖，但门下的学生却出了好几位得主，包括发明彩色照相术的李普曼（Gabriel Lippmann）、以测量光速而著名的迈克尔逊（Albert Michelson）、将电磁波带给世界的赫兹（Heinrich Hertz）、建立能量量子化理论的普朗克（Max Planck）以及发现热辐射和位移定律的维恩（Wilhelm Wien）。他在物理学界的知名学生还有罗兰（Henry Rowland）、哥德斯坦（Eugen Goldstein）、凯泽尔（Heinrich Kayser）。

Hermann von Helmholtz（1821.8.31–1894.9.8）

1821 年，亥姆霍兹出生于德国波茨坦（Potsdam）。他父亲是中学教师，母亲是军人的女儿。在家里亥姆霍兹是老大，另有两个妹妹和一个弟弟。他从小体弱多病，因而常常被关在屋里接受家庭教育。在小学和初中读书时，亥姆霍兹的记忆力表现甚差，文史课程的内容听后即忘，但是他对数学和物理特别是光学尤有兴趣。他的智力是在中学后期才发展起来的。到 1838 年中学毕业时，他的各科成绩都很优秀。

亥姆霍兹随后进入 Friedrich－Wilhelms 医学院学习。他得到了政府资助，条件是毕业后要为军队医院服务八年。在医学院专业学习之余，他喜好音乐，常常参加演奏莫扎特和贝多芬等人的名曲。他思考哲学，研究休谟、康德、歌德、拜伦等人的著作。他也爱好文学，阅读了很多希腊文学作品。数学方面，他自学了欧拉（Euler）、伯努利（D. Bernoulli）、达兰贝尔（d'Alembert）、拉格朗日（Lagrange）等名家的数学力学著作。

1842 年 11 月，亥姆霍兹以题为“无脊椎动物神经系统的结构”的论文获得了博士学位。他论文中关于神经细胞的中枢特性的分析以及神经纤维发源于神经节细胞的发现，成为后来生理学、病理学和神经组织学的理论基础，是对微观解剖学的重要贡献。读书期间，导师缪勒（Johannes Müller）的科学哲学观念对亥姆霍兹后来摆脱关于科学的形而上学观点而注重于科学的经验主义有很大的影响。

1843 年亥姆霍兹从医学院毕业后，遵约在波茨坦部队服役，担任助理军医。同年，他发表了题为“论发酵和腐烂的本质”的论文，报告了他在缪勒实验室取得的详尽实验结果，批判了时下流行的生物“活力”论，对发酵和腐烂给予了科学解释。1845 年，他又发表论文用实验结果驳斥了流行的“热质”说。

亥姆霍兹在这几年间做了非常重要的能量守恒理论研究工作，同时进行了大量科学实验，证实了他的一些基本思想并通过公式化形成严谨的理论。能量守恒的第一篇科学论文是由冯·迈尔（Julius von Mayer）在 1842 年发表的，当时并没有引起任何注意。次年，焦耳在一个学术会议上报告并展示了位能与热能的转换实验，可惜也没有听到任何反响。1847 年 7 月 23 日，亥姆霍兹在柏林物理学会上作了题为“论力之守恒”的演讲，对能量守恒定律的普适性做了第一次最充分明确的阐述。会议之后，亥姆霍兹把论文寄给了当时以流体动力学中的“马格努斯效应”出名的实验科学家马格努斯（Heinrich Magnus），希望能在德国顶刊《物理年鉴》上发表。但马格努斯认为该论文过多地使用数学方法把理论与实验物理结合起来，不算上乘之作。于是，作为编委他在写给主编波根道夫（Johann Poggendorff）的介绍信上并没有表示特别的推荐。波根道夫也认为，尽管论文结论看来重要，但实验结果不够充分，决定拒稿，建议作者可以考虑将论文以单行本印刷方式出版。年轻人亥姆霍兹当时很泄气。后来，在他的师兄、生理学家杜布瓦-雷蒙（Emil du Bois-Reymond）的支持和鼓励下，亥姆霍兹的第一本小册子《论力之守恒》在当年正式出版。他的理论在科学界引起了回响，让能量守恒原理得到了公认。今天，该书已经成为经典，其中文译本名为《能之不灭》，由商务（万有文库本）印刷，书后还附有作者 1881 年写的补遗。

他在论文和著作中解释了当年大家热衷的“永动机”并不可能实现。他写道：“鉴于前人所有试验的失败，人们不会再询问‘我如何能够利用各种自然力之间已知和未知的关系来创造一种永恒的运动’，而将会试问‘既然永恒的运动是不可能的，在各种自然力之间应该存在着什么样的联系？’”

那次成功的演讲和书的正式出版让 26 岁的亥姆霍兹声名鹊起。他也因此得以提前退役，于 1849 年初到了哥尼斯堡（Königsberg）大学任职生理学副教授。同年 8 月，他与一位物理学家的女儿奥尔加（Olga von Velten）结了婚。

在柯尼斯堡大学任教期间，亥姆霍兹测量了神经刺激的传播速度，成为第一位把物理方法运用到神经传导速度测量的人。1851 年，他发明了今天还在使用的眼底镜，并解释了其中的光学和数学原理。其间，他还发表了生理力学和生理光学方面的重要研究成果。

1855 年，他转到波恩（Bonn）大学任解剖学和生理学教授。在那里，他出版了《生理学手册》第一卷，并开始了流体力学中涡流的研究。

1857 年，他又转到了海德堡（Heidelberg）大学，任生理学教授。他利用后来称为亥姆霍兹共鸣器的仪器分离并加强声音的谐波。1863 年，他出版了影响深远的巨著《音调的生理基础》。

1871 年，他到了柏林大学任职物理学教授。从此，他的研究方向完全转向了物理学。

亥姆霍兹在物理学的多个方面成果累累。

在电磁学研究方面，亥姆霍兹用实验测量出电磁感应的传播速度为 314000km/s。他由法拉第电解定律推导出电是粒子的结论。1847 年，他发现了莱顿瓶的放电特性，并指出楞茨定律是电磁现象符合能量守恒与转换定律的极好例子。1849 年 3 月，他在柏林物理学会上作了“正切电流计构造原理”的报告。之后，他在神经脉冲传速实验中研究了感生电流的本质及其持续时间。1853 年，他在“论电流在物质导体中的分布定律及其在生物电实验中的应用”一文中综述了自己在数学物理和心理学交叉领域的研究成果。他的师兄杜布瓦-雷蒙认为这篇论文科学思想之丰富前所未见。1870 年，他又发表了题为“电动力学理论”的论文，开始了电动力学的研究。当年创建电磁理论的主要竞争者是韦伯（Wilhelm Weber）、冯·诺伊曼（John von Neumann）和麦克斯韦（James Clerk Maxwell）。亥姆霍兹通过实验检验了这些电磁理论，结论倾向于麦克斯韦。他也得出了自己的一个基本波动方程，即亥姆霍兹方程。1870 年，在冯·诺伊曼理论的基础上，亥姆霍兹得到了两个电流元相互作用势的一般表达式。在不同情况下，这个势分别与韦伯理论、亥姆霍兹—诺伊曼理论和麦克斯韦理论相符合。电磁波的存在最终由赫兹通过实验得到了证实。这一切为麦克斯韦的电磁理论在欧洲以至世界的传播铺筑了平坦的道路。1893 年，亥姆霍兹在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、安培和伏特这三个基本电磁学单位。

在热力学和流体动力学研究方面，亥姆霍兹在 1857 年发表了论文“论描述涡旋运动的流体动力学方程之积分”，为后来研究流体无旋运动和有旋运动而建立的亥姆霍兹第一、第二和第三定理奠定了理论基础。1858 年，他从理论上研究了流体间断面问题，讨论了无重力影响下板缝喷射流的形状。他随后进行了一系列关于流体内摩擦的理论和实验研究，得出的公式与电磁学中描述两电流元相互作用的 Biot-Savart 定律完全一致。他在 1882 年发表的论文“化学过程的热力学”中，把化学反应里的束缚能和自由能区别开来，指出前者只能转化为热，而后者却可转化为其他形式，从而有了亥姆霍兹自由能的概念。他从 Clausius–Clapeyron 方程出发，导出了后来著名的吉布斯—亥姆霍兹方程。他还研究过大海涡流和海浪形成的机理，也发表过冰物理和大气物理方面的科学论文。

作为能量守恒与转化定律的延伸，亥姆霍兹对力学中关于最小作用量原理的研究尤为深入。他在 1886 年发表了题为“论最小作用量原理的物理意义”的论文，1887 年发表了“最小作用量原理发展史”的论文，1892 年发表了“电动力学中的最小作用量原理”的论文，先后论证了韦伯、冯·诺伊曼、麦克斯韦等人提出的带电体间的相互作用的假设在计算形式上都与最小作用量原理相对应。亥姆霍兹在余生中为探寻以最小作用量作为统一原理的研究作了不懈的努力。虽然他的结局与爱因斯坦的统一场论别无二致，他们的思想都深刻地影响了现代物理学的发展。

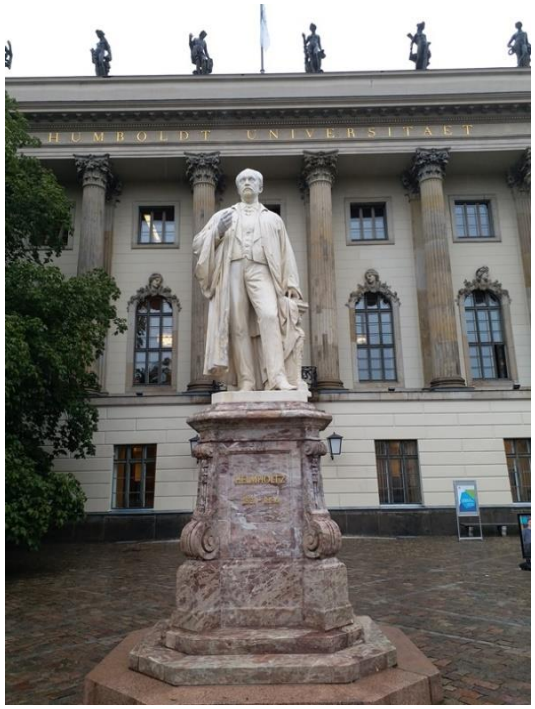
在生理光学方面，感觉实验心理学是亥姆霍兹作出了重大贡献的一个领域。他的实验结果表明：心理过程可以通过实验来研究，作为心灵代表的神经系统可以成为实验控制的对象。亥姆霍兹在 1856–1866 年编辑出版了《生理光学手册》，把当时的物理学、生理学以及哲学的研究成果和一般原理汇集一体，加上自己的发现和阐释，对视知觉作了系统的论述。该手册至今仍是生理光学和心理生理学的重要参考书。在大量生理光学实验的基础上，亥姆霍兹进一步发展了汤姆斯·杨（Thomas Young）于 1807 年提出的色视觉见解，认为红、绿、蓝这三种基本色可以通过各种比例互相混合从而生成各种不同的色。这些研究成果后来成为著名的杨—亥姆霍兹三色理论。

在生理声学方面，他在编写《生理光学手册》的同时，也开始了生理声学的研究，其成果汇集于 1863 年出版的《声学》一书中。该书至今仍是听觉实验心理学的经典。他还以实验确定了人耳可以听到的最高音和最低音以及介乎两者之间的可辨音调级数。他最重要的实验成果之一是关于构成音色的特殊差异因素的发现，即每种乐器发出的不仅是一定的基音，而且还有比基音频率更高的泛音，基音与泛音之间的拍子及泛音与泛音之间的拍子都会影响混音的和谐程度。这一发现使他成为给出谐音以物理解释的第一人。他还用后来以他命名的共鸣器证实，可以通过变换泛音强度的办法人为地产生各种乐器的声音。他还被认为是提琴声学研究的创始人之一。他的《论音调的感觉》一书以及关于音调实验的设备对后来贝尔（Alexander Bell）发明电话起过启迪作用。

在数学方面，他研究了黎曼几何、黎曼度量和数学物理中的退化波动方程等问题。他提出的有关黎曼度量的理论和偏微分方程在许多科学领域中都有重要的应用。1859 年，亥姆霍兹在提交给德国最具权威的巴伐利亚（Bavaria）科学院的论文“空气在开孔管中的运动理论”中，首次给出了波动方程（即亥姆霍兹方程）的一般解。此后，数学物理学家基尔霍夫（Gustav Kirchhoff）在亥姆霍兹解的基础上，得出了波动方程初值问题的解，由此阐明了声学的惠更斯（Christiaan Huygens）原理。这一研究和他关于流体的涡旋运动的研究代表了亥姆霍兹最出色的数学成就。他常常以自己能解决“这些令欧拉以来的大数学家们感到困惑的数学问题”而感到自豪。

亥姆霍兹关于几何学的研究由生理光学中的空间直观形式驱动，让他对人们关于空间普通直觉的起源及原理进行了探讨。他认为欧氏几何的公理系统并不是先验的，而是经验的产物。1868年起，他先后发表了多篇论文，力证数学的经验性。其论文“论几何的一些事实基础”最为著名，令当时的科学界和数学界叹为观止。这篇论文和黎曼（Bernhard Riemann）1854年发表的论文“论作为几何学基础的假设”一起，被称为 19 世纪下半叶数学哲学概念发展中的划时代作品。特别是，亥姆霍兹在他这篇论文中引出了半个世纪之后由女数学家诺特（Emmy Noether）证明的一条著名定理，确立了物理守恒定律和动力学定律之间的对称性，其结果对现代物理学有着极为重要的意义。他长期潜心数学研究，曾独立地得到黎曼几何学中的一些结论。数学家克罗内克（Leopold Kronecker）在给亥姆霍兹的一封信中写道：“您合情合理的实际经验以及对有趣问题所形成的结论将给予数学以新的方向和激励。...而那些片面和自我的数学思维只会把人们引向荒芜之地。”

亥姆霍兹非凡的科学才能和巨大的学术贡献让他矗立在近代科学家的殿堂里，熠熠生辉。



（亥姆霍兹塑像，柏林洪堡大学主楼前）

由于工作在医学、生理学和物理学的交叉领域和深受导师缪勒的影响，特别是他对德国古典哲学的毕生关注，亥姆霍兹的哲学思想非常丰富。但这位哲人在生活里，又是一个谦虚诚实、正直善良的凡人。他的学生普朗克说过：“我知道亥姆霍兹也是一个普通人。我敬佩他的为人并不亚于敬佩他是一位科学家。由于他具有诚实的信念和谦虚的人品，他成了科学高尚和正直的化身。他的这些品格深深地感动着我。每当我们谈话时，他总是用平静、锐利、打动人心和慈祥的目光看着我。我可以完全信赖他。事实告诉我，他是一位公正而又宽容的裁判。他的一句称许，更不用说是赞扬，都会使我象赢得了世界赛胜利那样的快乐。”

亥姆霍兹以其杰出才能和高贵品格获得学生、同事和朋友的爱戴，成为大众的良师益友，也赢得政府的尊敬和重用。他在 1862 年被任命为海德堡大学副校长，1877 年被任命为柏林大

学校长，1887 被任命为国家科学技术局主席，1888 年被委任为帝国物理技术研究所的第一任所长。荣誉方面，他在 1860 年被遴选为英国伦敦皇家学会院士，并荣获该学会 1873 年度科普利（Copley）奖章。此外，他在 1870 年被选为普鲁士科学学会会士。

说起来没有一个人可以全无挫折地度过一生，亥姆霍兹也一样。1859 年，38 岁的亥姆霍兹受到了双重打击：父亲辞世，爱妻病亡。两年后，他再婚作家安娜（Anna von Mohl，1834.9.19-1899.12.1）。1893 年 8 月，他主持了在芝加哥举行的第四届国际电气工程师大会。在返回欧洲船上，他不小心从甲板上跌倒，头部受了重伤。接下来他一直受着伤痛的折磨，到次年 9 月 8 日终因脑溢血在 Charlottenburg 逝世，享年 73 岁。

12 月 14 日，亥姆霍兹追悼大会在柏林隆重举行。德意志国王与王后、亥姆霍兹家人及各界名人参加了葬礼。随后，国王拨款一万马克并亲自选定在柏林大学主楼前侧建造了亥姆霍兹纪念馆。1899 年 6 月 6 日纪念馆揭幕那天，王后、王储及王子，以及亥姆霍兹家人和柏林科学艺术界名流一起参加了揭幕仪式。

并非所有的名人都有逸事留给后人闲聊。如果说我还有关于亥姆霍兹后来的故事，那就是 2019 年 9 月 23–26 日我在德国柏林洪堡大学参加了第 16 届国际复杂系统与网络学术会议（International Workshop on Complex Systems and Networks），会后和矗立在柏林大学主楼前的亥姆霍兹塑像拍了一幅合照，心满意足地当了一回科学家追星族。

（柏林洪堡大学，2019 年 9 月 27 日）

附录：《德国亥姆霍兹国家研究中心联合会》简介

德国亥姆霍兹国家研究中心联合会（Helmholtz Association of German Research Centers）是德国乃至欧洲最大的科学研究机构，有 19 个独立的自然科学、工程学、生物学和医学研究中心，3 万多雇员，年度经费总额 34 亿欧元。亥姆霍兹联合会着眼于德国中长期科技发展目标，集中在六个研究领域（能源、地球与环境、生命科学、物质结构、航空航天和交通、关键技术），依托重大基础研究设施，开展前瞻性的跨学科综合研究，旨在解决社会持续发展中的重大问题。

亥姆霍兹联合会共建立有 100 多个非实体科学研究所，其中包括来自德国的 60 多所大学的 300 多个合作单位，每年资助近百个青年科学家小组和大批的博士学位研究项目（达 4 千多项），以及各种水平和层次的访问科学家（达 5 千多人次）。

亥姆霍兹联合会正在建立全球最大的信息技术安全研究中心“德国信息技术安全、隐私及责任中心”（Helmholtz Center for Information Security，简称 CISPA）。按计划，到 2026 年该中心将有来自全球约八百名专家从事网络安全研究工作，届时该中心每年的科研经费预算可达五千万欧元。

德国亥姆霍兹联合会——中国全国博士后管委会在 2018 签署了“中德博士后交流项目”协议，每年共同遴选和资助 50 名以内的中国优秀青年学者到亥姆霍兹联合会属下的研究中心从事为期两年的博士后研究。对于入选的每位博士后，全国博士后管委会提供 30 万元人民币的一次性资助，同时亥姆霍兹联合会提供每月 1500 欧元的免税奖学金，用来支付日常生活、健康保险及学术交流的费用。