

# 福勒：为 20 世纪新物理学在剑桥的发展屡建战功

朱爱国 程民治

（巢湖学院机械与电子工程学院 238000）

第一次世界大战结束后，在英国剑桥大学有一批经过战争洗礼与磨练的科学家，为了将剑桥的数学传统从日趋完善与成熟的牛顿体系中拯救出来，他们又重新活跃在物理学发展的前沿阵地。一方面为当时的相对论和量子力学能够顺利地传入英国，而不遗余力地宣传和推广这些崭新的物理学思想；另一方面又围绕着现代物理学的这两大硕果，脚踏实地地进行了潜身研究和刻苦攻关，并且各自均取得了一系列显赫的成果——或理论创新、或重大发现、或重要的技术发明。终于使剑桥大学这所拥有 700 年悠久历史的科学中心，冲破了经典力学的思想牢笼，给新物理学的发展注入了青春的活力，并带来了一派欣欣向荣的新气象。在这些科学精英中，拉尔夫·霍华德·福勒（E. Fowler, 1889~1944）是最杰出的代表之一。现拟就他辉煌的科学人生，作一简要的论述。旨在将这位不为人所熟知的物理学明星，推向历史的前台，让人们一睹他昔日的科学风范及其在数学物理、理论物理与实验物理等领域所作出的巨大贡献。

## 1. 饱受两次战乱之苦的生平简历

福勒于 1889 年 11 月 17 日出生在英国的埃塞克斯郡罗伊敦（Roydon, Essex），是家中的长子，其家境十分殷实富足。由于受其父运动天赋的影响，不仅使他终生酷爱高尔夫运动，而且造就了他在整个学生时代，一直是学校板球队和足球队出色的运动员。儿童时代的福勒，在相继完成了家庭的早期教育和在预备学校求学的学业后，13 岁时进入温特斯特中学就读了 6 年，并以优异的成绩荣获了该校授予的数学和自

然科学奖金。1906 年 12 月，福勒赢得了剑桥三一学院的主修奖学金，两年后进入三一学院学习，1911 年取得了学士学位。尔后，他便开始了纯数学的研究，1915 年他又获得硕士学位。就在福勒读研究生期间，由于他具有高超的数学技巧和敏锐而深邃的洞察力，数学成绩一直独占鳌头，致使他分别于 1913 年和 1914 年先后登上了瑞利奖（Rayleigh Prize）和三一学院奖学金的颁奖台。

1914 年 10 月间，第一次世界大战的爆发，彻底打乱了剑桥安定平和的学习与研究环境，福勒因此授命于皇家海军炮兵队。在战争期间，不光他本人肩部严重挂彩造成了肺部感染，而且他的弟弟在法国索姆（Somme）战役中不幸阵亡，同时他的两位学生时代的挚友也被战死。所有这一切，使福勒深切地体会到了战争的残酷。

一战结束后，福勒于 1919 年 4 月重返剑桥的三一学院。基于同高尔夫球结下了不解之缘的共同爱好，他不但很快与时任卡文迪什实验室主任的卢瑟福（E. Rutherford）相识并成为至交好友，而且结交了更多的人。在剑桥的岁月里，每周的休闲时间，他都要与卢瑟福、阿斯顿（F. Aston）、达尔文（H. Darwin）、泰勒（G. Taylor）等人，聚合在一起尽情地玩一次高尔夫球。1921 年，福勒与卢瑟福的独女艾琳（Eileen）喜结连理。

1922 年福勒成为剑桥大学新增设的数学物理博士学位中唯一一位研究生导师。另外，由于他才华出众，硕果累累，因此分别于 1925 年、1932 年和 1933 年，先后当选为英国皇家学会特别会员、新创建的热力学物理的讲座教授和温特斯特的学会会员。不仅如此，

福勒曾于1936年被授予皇家奖章一枚。要不是上任前一刻突然发生中风，福勒还将于1938年准备接替W·L·布拉格(W. Bragg)的职位，即担任国家物理实验室的主任。这次中风经治疗后虽然很快恢复，但是对他日后的身体状况却埋下了祸根。

在第二次世界大战席卷全球的1939年，福勒授命立即恢复了在军火部的工作。在此期间，他曾作为英方空军的主要科学代表赴加拿大和美国，主要商讨如何促成这三国之间的军事联盟，怎样才能为英国被围困的军队获得重要的军事援助，以及如何推进英美两国核研究的进程等有关事宜。由于战争过于繁忙，使得福勒成天处于高度紧张与疲劳的工作状态。这正如他所说：“现在所有人要冒险，我也不例外。”1941年，屡次将医生的严重警告置若罔闻的福勒，其健康状况日见衰退与恶化不得不回到英国。但在返回故土后，他却依然担任着国家研究理事会(National Research Council)的科学顾问和英国联络员的双重任务。1942年，福勒因为这种联络性的工作而被授予爵士。据与他共事的物理学家米尔恩(E. Milne)回忆，福勒从一战前的纯数学家转变到二战期间的物理学家、工程师和行政官员，他都当仁不让。不仅工作得心应手、业绩卓著，而且在这种角色的转换中，为福勒在科学实际应用上的能力积累了很大的财富。

1944年7月28日，在二战的炮火与混乱的时局中，病入膏肓的福勒离开了人世，享年仅55周岁。

## 2. 广为涉猎硕果累累的科研生涯

福勒的科学人生虽然短暂，但他勤奋好学、持之以恒、广为涉猎、博学多才、成果丰富。主要体现在：

其一，在他早期所致力研究的纯数学领域，曾于1913~1915年间发表了四篇论文；1920年出版了一本数学专题研究的单行本，这本名为《平面曲线的初等微分方程》的小册子，简明扼要、短小精悍。后被一版再版，极具影响力，可谓是福勒在纯数学研究方面的代表作。

其二，在一战期间，出于战事的需要，福勒将他的数学才能应用于物理学领域。他从改良与提高常规的军用仪器和武器的性能以及精密度出发，进

行了一系列的实验，发表了大量文章。例如，在他和别人合作的三篇论文中，其中的一篇研究了声波和纯音警报器，同时还考虑了气流对谐波的影响；另外的两篇文章则是论述了刚射出枪口的子弹在有角度振动的情况下的力学系统，这是空气动力学对飞行子弹的应用。并且福勒在这两篇文章中，还列出了与飞行子弹相关的全部力学理论和实验的结果，便于普通军事官员的理解。福勒等人的这一研究成果，甚至对当时美国和加拿大的腔外弹道学研究产生了很大的影响。也正是这一贡献，福勒于1918年被授予英帝国勋章。在这里特别值得一提的是，在一战期间自身的负伤和同胞兄弟等人的不幸阵亡，虽然给福勒带来了巨大的精神痛苦，但也铸就了他理论联系实际的治学风范。

其三，1919年，具有大家风范的福勒回到了剑桥，加之他与其岳父卢瑟福等著名的实验物理学家、天体物理学家的亲密接触，导致了他在系统地研究了各种不同类型的数学问题之后，最终将探索的目光转向了数学物理中的前沿问题。福勒也就因此从上个世纪20年代初开始，进入了科学创造的巅峰期，在此后的二十余年中，可谓是一发不可收拾。在这段历史时期，福勒曾单独或与他人合作，先后取得了好多项重要的研究成果。一是1922年与C·G·达尔文一起共同完成了一篇关于能量分配的文章，提出了计算统计积分的方法，即著名的达尔文-福勒(Darwin-Fowler)法。此法除了被广泛应用于物理学的诸多分支领域之外，福勒又独自将它发展为研究物理化学的方法。二是自从20年代以来，福勒通过与米尔恩的共同努力，就他俩关于恒星光谱、温度和压力等问题的研究成果，发表了一系列的文章，这使福勒荣获了1923~1924年度剑桥大学的亚当斯奖(Adams Price)。1929年福勒又将这些文章组合在一起，出版了一本学术专著——《统计力学》。这本脍炙人口的集大成之作，体现了统计力学在现代物理学中的应用，是一部“最为实用、完整和学术的著作之一”，享有“卓越非凡和意义深远的”崇高荣誉，因为它是“在‘平衡态物质性质理论’中几乎堪比百科全书”。难怪哥本哈根物理学派的领袖、1922年度诺贝尔奖得主玻尔(N.

Bohr) 声称: “正盼望从书中学到更多的东西”, 并认定这本书的出版“是一件了不起的工作, 肯定会受到所有物理学家的最大欢迎。”三是福勒同古根海姆(E. Guggenheim) 合著的《统计热力学》, 于 1939 年出版发行。四是在 1926 年, 当费米-狄拉克量子统计法刚一提出, 福勒便立即将这一理论应用于研究宇宙中所存在的高密度物质状态(后称之为白矮星)。不仅证明了与白矮星的高密度相关的“简并气体压力”确实足以抵抗引力收缩, 而且还证明了在白矮星那样的压力与密度条件下, 星体的能量的确比地球上通常的物质所具有的能量大很多。福勒的这一有生以来最具原创性的重大发现, 是当时刚诞生的量子力学的一个合理外推。另外他还得到了一些至关重要的结论, 其中特别是白矮星的密度-压力关系, 具有更高的学术价值。因为依据这个关系, 可推得任何质量的恒星, 在它们的晚年, 都将以白矮星而告终。福勒的这种恒星演化过程的观点, 后经他当年的博士生钱德拉塞卡(S. Chandrasekhar) 的进一步发展, 提出了以其名字命名的质量极限, 作为恒星演化结果的判据, 亦即当恒星的质量在“钱德拉塞卡极限”(1.44 个太阳质量) 以下, 恒星将以白矮星终结它的一生, 而当质量超过此值时, 恒星将最终变为中子星或“黑洞”。钱德拉塞卡也因在恒星结构和演化过程的研究中业绩显赫而荣膺了 1983 年度的诺贝尔物理学奖金。

此外, 福勒还分别在物理化学、凝聚态物理学和实验物理学的前沿领域, 以及量子理论、量子化学等诸多方面, 都有所建树; 其利用学术报告或讲座等形式, 对其他各种新兴理论在剑桥的传播也功不可没; 与此同时, 当年作为博士生导师的福勒, 还为剑桥培养了一批高素质的创新型人才。

### 3. 闪光的科学人生影响重大深远

综上所述, 福勒作为“20 世纪初剑桥大学数学物理的弄潮儿”, 他的科学人生虽然短暂, 但却绚丽多姿、光彩夺目, 既振兴了当时英国的科学与教育事业, 又惠及了后人。

首先, 福勒面对着当年量子理论在剑桥的传播很不顺畅, 甚至受到了一些物理学权威如瑞利(L. Rayleigh) 和金斯(J. Jeans) 的排斥, 感到心急如焚。

于是, 自从一战结束之后, 他审时度势、忠贞不渝地坚守在物理学的前沿领域, 呕心沥血、任劳任怨、锲而不舍地进行了深入的研究。并以非凡的科学洞察力迅速地意识到: 如果不及时将昔日名声鹊起的剑桥数学从牛顿体系中解救出来, 那么它将很快变得黯然失色。为此, 福勒毅然决然地在剑桥开启了数学物理的研究, 并十分明确地确立了它在现代物理学中的地位, 果断地宣告了数学领域一直被笼罩的牛顿传统已经过时, 使他因此成为了剑桥数学物理的领航人。后来经继承者不断地艰苦努力, 直接导致了剑桥大学更多数学分支学科的相继问世。如 1959 年剑桥大学应用数学与理论物理系的诞生, 以及 1964 年纯数学与数学统计学系的创建, 就是两个典型的例证。从而不仅使剑桥的数学恢复了以往的辉煌, 重新立足于世界数学的最高之林, 而且还使从牛顿体系中摆脱出来的剑桥数学, 在现代物理学的发展中大放异彩。

其次, 如上文所述, 福勒曾被授命亲身参与了两次世界大战, 交战双方的互相惨杀和战事的吃紧, 虽然给他的心灵和身体都带来了严重的创伤, 但是对他的学术研究生涯却提供了一个机遇, 即战争中的经历使他更偏重于理论在实践中的应用。尽管战争的影响会使福勒的学术研究在其深度和独立性上不够突出, 但是福勒的这种理论联系实际的治学风范和广博的学识却很快得到了卢瑟福和玻尔等物理学大师的青睐和重视, 从而“使他成为了理论与实验的中间人。”无疑, 福勒的这种既重视理论研究又不忽视实验研究的风范, 对当时物理学界那些热衷于“纯数学构造”而坠入远离实验的“黑洞”的科学探索者, 也是一个极好警示。

此外, 福勒作为当时剑桥独一无二的数学物理博士生导师, 他那种对于 20 世纪各种新兴学科所持有的高度敏感和高昂的激情, 迅速而深刻地感染了他的博士生, 乃至剑桥大学数学物理和实验物理专业其他学位层次的全体师生。这对于当时剑桥继续巩固深化、提高和发展于 19 世纪末高等教育改革所取得的系列成果, 无疑起到了推波助澜的作用, 并由此培养和造就了一批开拓型的创新型人才, 物理学史雄辩地佐证了这一点。如卡文迪什实验室在英国实验物理中的地位与作用得到进一步的加强。又如在福勒担任数学物

理博士生导师的 18 年间，他先后培养了六十多位成绩斐然的研究生。其中贡献特别突出的，除了上述的天体物理学家钱德拉塞卡以外，还有量子物理学家狄拉克（P. Dirac）和凝聚态物理学家莫脱（N. Mott），前者因创立原子理论的新形式，并以波动力学准确地预测了正电子的存在，而分享了 1933 年度的诺贝尔物理学奖金；后者因对磁学和无序系统的电子结构理论所作的根本性贡献，而摘取了 1977 年度的诺贝尔

物理学奖的桂冠。福勒的这些弟子，后来能在现代物理学的各个分支领域中取得如此卓越的成就，显然与他们的恩师福勒当年的言传身教与帮助分不开的。

一言以蔽之，在 20 世纪初这个全球物理学界风起云涌的年代，福勒为英国剑桥大学科学事业的重振雄风，立下了汗马功劳，这是不容置疑的客观事实。笔者在将他推向历史的前台的同时，不禁要问：我们能从这位先师的身上，获得哪些有益的启示呢？



### 科苑快讯

## 超级防水技术：将纳米结构表面与莱顿弗罗斯特效应结合起来

在过去的十年中，科研人员一直致力于将超级疏水表面与莱顿弗罗斯特（Leidenfrost）悬浮效应结合起来——试想液滴可以在热的表面上漂浮而不与其发生接触——研究人员期待通过这项研究能够揭开防水表面的神秘面纱。

一组来自韩国首尔大学和檀国大学的科研人员提出了一项新的研究，他们在报道中称发现了一种反常的水滴反弹现象，这种反常现象是由纳米结构表面的莱顿弗罗斯特悬浮效应产生的，这一发现刊登在由 AIP 出版的《应用物理快报》（*Applied Physics Letters*）上。

该文章的主要作者，首尔大学材料工程系博士后李（D. J. 李）解释说：“与液滴撞击表面之后的回缩过程一样，浸润性在决定平衡接触角，接触角滞后以及固体和液体表面粘滞性中起着至关重要的作用。”而产生非浸润表面的一个途径就是莱顿弗罗斯特效应。莱顿弗罗斯特效应“能够使液滴借助自身的蒸汽层气垫在滚烫的表面上跳动。”李解释说，“存在于液滴和热表面之间的蒸汽薄膜能够使液滴从表面上反弹——这一现象也被称之为动态莱顿弗罗斯特现象。”李和他的同事们发明了一种特殊的“非浸润性纳米结构表面”，这一发明使他们可以进一步的研究动态莱顿弗罗斯特效应对于不同材料的影响。“我们研发的纳米结构表面通过热力学分析验证确实是‘非浸润性的’。”李详细描述到，“该分析表明液滴不太可能穿透表面的纳米孔，而这一特性对于设计非浸润性防水

系统是非常有利的。同时该表面上液滴的弹跳现象是由非浸润表面（通常称之为凯西表面）和莱顿弗罗斯特效应共同驱动的。”通过对疏水表面和纳米结构表面进行比较，研究组发现水滴在纳米结构表面的弹跳现象有所增强，这种增强是由莱顿弗罗斯特悬浮效应和非浸润性凯西结构共同作用产生的。李解释说：“热力学可以预言纳米结构表面的非浸润性，同时液滴表面的微孔和蒸汽压力之间的比例关系也可以解释动态莱顿弗罗斯特现象。”他补充说：这些发现将“对很多研究领域极具价值，例如通过莱顿弗罗斯特效应和纳米结构特征研究非浸润性表面，增强液滴反弹以及在热凯西表面液滴的膜状沸腾等。”

该研究组的工作显著加深了人们对于动态莱顿弗罗斯特液滴悬浮以及在疏水表面和纳米结构表面的滴落-反弹现象的理解。这意味着该项研究对于一些工业上高度防水表面的研发（如自清洁玻璃，风挡玻璃，外墙涂料，防污涂层，屋顶材料以及未来织物等）具有重要意义。李强调：“我们下一步的工作将集中研发一种结合微尺度和纳米尺度的多尺度结构，并结合动态莱顿弗罗斯特效应进一步探讨该结构表面的非浸润性特征。”

（美国物理联合会 张铮铮供稿；海容编译；论文原文见 <http://scitation.aip.org/content/aip/journal/apl/108/20/10.1063/1.4948769>）