



## 流体力学大师 Batchelor 的几件史事



冉 政<sup>1)</sup> 潘书勤

(上海大学, 上海市应用数学和力学研究所, 上海 200072)

**摘要** Batchelor 是湍流剑桥学派的领军人物, 国际流体力学大师. 本文分析影响他成长的人和事, 有助于理解湍流研究的历史兴衰.

**关键词** 流体力学, 剑桥学派

George Batchelor (1920-2000) 无疑是 20 世纪流体力学的一个伟大人物, 他的主要科学贡献涉及到两个领域: 湍流和低 Reynolds 数的微流体力学. 在这些研究领域 Batchelor 都具有开创性的贡献和持续的影响力. 与此同时, 他还参与了广泛的社会学术服务活动, 他创办了著名的流体力学杂志, 并长期担任主编; 与他人合作倡导成立了欧洲力学联盟, 并亲任第一任主席; 从 1959 年到 1983 年退休, 他一直是剑桥大学应用数学和理论物理系 (DAMTP) 主任.

Batchelor 的湍流研究事业主要集中在 1945 年到 1960 年代期间, 他于 1953 年发表了著名的湍流专著, 系统地总结了先前在各向同性湍流的主要进展, 成为湍流研究领域影响深远的著作. 此时, Batchelor 仍然乐观地认为他可能发现湍流问题的完全解. 在整个 1950 年代, 他领导剑桥大学的湍流研究团队, 在湍流研究中做出了一系列的创新性工作, 领导了湍流的世界潮流, 使 G.I. Taylor 开创的湍流研究得到发扬光大, 实事求是讲, 当时剑桥大学是世界湍流研究的中心. 但到了 1960 年代, Batchelor 面对湍流的不封闭问题, 感到了不可逾越的困难, 从而导致他放弃了自己热爱的湍流研究事业. 后来, 在 1992 年他回忆道: “直到 1960 年, …… 我江郎才尽; 有关湍流研究的分析性困难使我濒临绝望, 从目前的研究论文中, 我无法看到任何实质性的突破”. 这种心态的转变伴随了 1960 年后的 Batchelor. 在随后的岁月中, Batchelor 的主要精力集中在撰写流体力学教科书, 同时继续他的低 Reynolds 数的微流体力学的研究, 这几件事花费了他大多数的时间. 从 1960 年代起, 他几乎没有发表过属于湍流基础性的研究论文了.

研究 Batchelor 的这种转变历史, 了解影响 Batchelor 成长的人和事, 无疑将有助于我们理解整个湍流研究的发展过程. 本文将将与 Batchelor 密切相关的几个学者为线索, 分析 Batchelor 的成长历程.

### 1 Batchelor 与 G.I. Taylor

G.I. Taylor 是 20 世纪最伟大的流体力学家之一, 他的工作对于流体力学的整体发展具有深刻的影响力, 特别是 20 世

纪湍流统计理论的创立, 几乎是属于他一个人的独特贡献. Batchelor 于 1920 年 3 月 8 日出生在 Australia 的 Melbourne, 1939 年他毕业于 Melbourne 大学, 此时正值第二次世界大战爆发, 他进入 CSIRO 的空气动力学部门从事空气动力学研究. 在整个战争期间, 他从事的均是实际问题工作. 尽管这些工作并不见得有最基本的理论兴趣, 但仍然可以看成是他日后从事湍流研究的缘由.

在他工作过程中, Batchelor 读到了 1930 年代 G.I. Taylor 的湍流论文, 这些论文主要的目的是发展各向同性湍流的统计理论, 而 Batchelor 直觉地认识到这正是他真正想追求的东西. Batchelor 写信给在剑桥大学的 G.I. Taylor, 恳求他接受自己作为一名研究生, 而 G.I. Taylor 确实也接受了他的请求. 与此同时, 较为有意义的是, Batchelor 还成功地劝说了自己的 Australia 同胞 Alan Townsend 一起来加入了他的发现之旅. 在随后的岁月中, 由于两人在理论和实验的珠联璧合, 从而奠定了现代湍流研究的基础. Batchelor 是 1945 年开始自己的剑桥之旅的, 但是当他到达剑桥大学时, 却惊讶地发现 G.I. Taylor 自己现在并不在从事湍流研究了, 尽管后来 Batchelor 在论文中经常对 G.I. Taylor 表示致谢, 但是 G.I. Taylor 对于 Batchelor 的湍流研究的直接影响是较小的, 他们几乎没有联名发表过有关湍流基础研究的学术论文, 这也可以看成是湍流研究史上的一件憾事.

### 2 Batchelor 和 Kolmogorov

尽管 G.I. Taylor 自己现在并不再从事湍流研究了, 但是 Batchelor 并没有放弃自己的追求. 他花了一年的时间在剑桥大学的图书馆中阅读研究湍流文献. 在图书馆, 他遇到了影响他一生的一个机遇. Batchelor 幸运地阅读到了 1941 年卷的 Doklady 英文版, 这是前苏联科学院的院刊, 最为重要的是他从中阅读到了 Kolmogorov 那篇著名的论文. 这应该是一个令人愉快的遭遇, 因为当时正面临来自德国的入侵, 前苏联科学院已经从 Moscow 迁移到 Kazan, 很难想象在那样动荡的岁月, 前苏联科学院仍然会按期出版英文版的学术刊物, 并在世界范围内发行. 当 Batchelor 读到这些论文后, 他立刻意识到它们的重要科学意义. 因为 Kolmogorov 的论文由于出版版面所限, 仅仅有短短的 4 个版面, 这种短文使得一般读者很难完全准确地理解它们深刻的内涵, 但是所幸的是 Batchelor 确实读懂了这些论文, 并结合自己的理解, 在 1947 年他发表了一篇长达 27 页的评述性论文<sup>[1]</sup>, 这篇论

本文于 2010-11-02 收到.

1) E-mail: zran@staff.shu.edu.cn

文的主旨在于向西方学者介绍 Kolmogorov, Sedov 等苏联学者的湍流研究工作。这篇论文应该可以看成是 Batchelor 有关湍流研究的一篇重要工作。无疑，由于这篇论文，使得 Kolmogorov 的工作在西方学术界得到广泛的关注。

在随后的岁月中，Batchelor 也一直在挖掘 Kolmogorov 理论的内涵，以及推广。

### 3 Batchelor 和 Sedov

在关注 Kolmogorov 理论的同时，大多数的西方学者可能忽视了这样一个有趣的细节：事实上，Batchelor 在早期的湍流研究工作中，还关注了另一个前苏联学者 Sedov 的湍流研究工作。从目前可以读到的 Batchelor 的湍流文章中，我们不难发现 Batchelor 对于 Sedov 的湍流研究工作的理解和思考。例如在 1947 年 Batchelor 那篇有名的论文中，他就引用了 Sedov 关于自保持解的结果，并试图将这种单一湍流尺度的结果与 Kolmogorov 理论相关联。1948 年，在杂志 *Quarterly of Applied Mathematics* 发表的论文中<sup>[2]</sup>，Batchelor 详尽地讨论了 Sedov 解的性态。他分析道，在引入以下条件

$$\frac{\lambda^2}{\nu R_\lambda} \cdot \frac{dR_\lambda}{dt} = aR_\lambda + b \quad (1)$$

这里  $a, b$  是常数。这一解并不要求  $R_\lambda$  为常数，湍流的二阶和三阶关联系数满足

$$f'' + \frac{4}{\psi} f' + \left(\frac{5+b}{2}\right) \psi f' + 5f = 0 \quad (2)$$

$$k' + \frac{4}{\psi} k = -a\psi f' \quad (3)$$

而  $0 \leq r \leq l$ ，这一解唯一地确定了相关系数。

但是，令人费解的是，在该论文的下面，Batchelor 添加了一个注释，他写道：“This might be regarded as a hint that the solution is physically impossible. However I have not been able to find any definite anomalies”。

在 1953 年，Batchelor 发表的湍流专著中，仍然引用了 Sedov 的上述工作。

### 4 Batchelor 的绝望

对于一个科学家来说，最大的痛苦莫过于才思的枯竭，这种感觉对于 1960 年代的 Batchelor 来说，比一般人可能更为强烈。实际上，从 1960 年以来，Batchelor 很少有大作问世。这里面的深刻原因，在后来 Moffat 的纪念文章中有详细的描述。Batchelor 的这种剧烈变化，其实的直接原因也在于 Kolmogorov。要说明其中的细节，必须提及到 1961 年在法国 Marseille 召开的一次湍流会议。会议召开的

起因是为了祝贺统计力学研究的成立。当时，可谓湍流世界高手云集 Marseille：与会者有 Kolmogorov，Obukhov，Yaglom，Millionshchikov，von Karman，G.I.Taylor，Sedov 等流体力学伟大人物，另外还有一些学术新秀，如 Corrsin，Lumley，Saffman，Kovasznyay，Kraichnan，Proudman，等等。Batchelor 自己是该会议的一个重要组织者。现在看来，这实际上是西方学者和前苏联学者的一次难得的学术思想碰撞。目前的文献记录表明 Sedov 出席了该会议，但没有做学术报告，他与 Batchelor 之间发生的事可能永远无法说清。但是，有关当时会议期间 Kolmogorov 与 Batchelor 之间的故事却是该会议的一个永远令人津津乐道的话题。

Marseille 会议的一个高潮是 Stewart 报告有关 Kolmogorov 能谱的实验测量工作，这是第一次实现这种测量，尽管离理论论文的发表已经 20 多年了。接着，Kolmogorov 做了自己的报告，他指出他在 1941 年发表论文不久，Landau 就指出了他理论的一个缺陷，由于间歇性，Kolmogorov 能谱必须得到修正。

事实上，从学术上讲 Kolmogorov 的演讲对于 Batchelor 来说并不新奇，因为湍流间歇性质在 1949 年 Batchelor 和 Townsend 已经发现。但是，Kolmogorov 的演讲确实是一击，因为前不久，Batchelor 还雄心勃勃，以求湍流问题的完全解。一些新的理论进展，特别是 Kraichnan 提出的直接相互作用近似理论，除数学复杂性外，在 Batchelor 看来并没有更多的物理解，从而也不能看成真正的进展。这种困惑的处境，促使 Batchelor 最终放弃了自己热爱的湍流研究。这里的情形湍流界戏称为：Batchelor 的绝望。

总之，Batchelor 从一个青年学子成长为流体力学大师，除自身的天赋努力之外，还在于他的机遇。在他初入湍流研究领域时，他善于从一流学者身上学习。影响他成长的应该不是 G.I.Taylor，而应该是 Kolmogorov 和 Sedov 等前苏联科学家，Batchelor 的成长历程给我们以深刻的启迪。

### 参 考 文 献

- 1 Batchelor GK. Kolmogoroff's theory of local isotropic turbulence. *Proc Camb Phil Soc*, 1947, 43: 533-539
- 2 Batchelor GK. Energy decay and self-preserving correlation function in isotropic turbulence. *Q Appl Maths*, 1948, 6: 97-116
- 3 Moffat HK. GK Batchelor and the homogenization of turbulence. *Annu Rev Fluid Mech*, 2002, 34: 19-35
- 4 Favre A. *Mecanique de la Turbulence*. Paris, France: CNRS. 1962. 108