第 30 卷 第 4 期
2000 年 11 月 25 日

力 学 进 展
ADVANCES IN MECHANICS

Vol. 30 No. 4
Nov. 25, 2000

源于 G.I. Taylor 工作的现代经典物理学*

M.P. Brenner

Department of Mathematics, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, USA

H.A. Stone

Division of Engineering and Applied Sciences, Harvard University, Cambridge, Massachusetts, USA

摘 要 一位科学家的工作提供了一门完整课程的素材，涉及从流体动力学稳定性、湍流到流体电动力学、微生物的运动.

关键词 流体稳定性，湍流统计理论，爆炸波，旋转流动，位错

1998 年春季，我们合开了一门现代经典物理学的研究生课程，其目的是讲授基础理论和传授现代研究的方向和意义. 在讲课过程中，我们认识到作为现代物理和工程感兴趣的很宽的范围内课程基础的许多重要发现是由一位英国科学家 G.I. Taylor (1886~1975) 得到的. 尽管很多研究者了解 Taylor 一、二个方面的贡献，但似乎很少人知道他的科学论文有惊人的广度，并同今天重要的研究问题有紧密关系. 因为以同名命名了几种基本的流体流动不稳定性 (Taylor-Couette, Rayleigh-Taylor 和 Saffman-Taylor)，所以大家记住了他的名字. 也正是他第一个实验证明了光强减小时，光线绕针的衍射斑图保持不变. 这些课题仅仅是开始. Taylor 根据需要发展了统计理论，对湍流研究作出了重大贡献. 并第一次测量了大气的有效扩散率和粘度. 他写出了随机行走的第一篇科学文章；给出了气体中激波结构的第一个可靠的理论；解释了位错在确定固体强度中的重要性. 他也描述了在旋转环境中流体运动的违反直觉的物理现象，提出了大气和海洋动力学很多重要方面的基本原理.

图 1 G.I. Taylor (右), 69 岁, 和他的助手 W. Thompson 在他的实验室内

* Physics Today 惠允版权翻译此文 (Published with permission from Physics Today, May, 2000: 30~35). 关键词是译者加的.

Taylor 研究的所有这些课题是在他一生的前 30 年内，即从 20 岁到 50 岁间完成的. 在后 30 年取得的其它成就中有：定量地描述了流体流动中溶质的离散，详细阐述了微生物如何游动的基本原理，根据美国政府公布的一系列照片，用量纲分析预测原子弹爆炸的能量. 他也认识到二种流体之间的界面加速会导致不稳定性，他还对流体和电场之间的相互作用作过学术报告，提供了电流体动力学的基础和很多现代工业加工和装置的基本原理. Taylor 在 70 岁到 80 岁期间作了大量涉及电场的研究工作.

Taylor 研究的惊人的深度和广度这样或那样地影响了经典物理学的很多现代研究. 因此专门围绕 Taylor 的不同领域的科学文章组织一门课程，可以达到我们的目标. 在本文中我们综述了课程的结构和内容，并且还描述了 Taylor 的一些发现，在尚未受到这些发现重大影响的学科中，也许还鲜为人知.

1 课程结构

经过一个学期，我们越来越清楚地认识到按 Taylor 发表的文章 [1] 安排课程有很多好处. 首先，Taylor 的研究兴趣提供了一个理由，说明为什么本课程覆盖的课题比常规课程要广泛得多. 其次仔细研究他的文章必然会注意到他的风格，这种风格是把理论论证和标度分析直接和定量地与实验结果进行比较. 一方面尽管用这种方式研究科学和工程问题的意义是非常明显的，另一方面对教和学又都是非常困难的，特别是像 Taylor 常做的那样考虑复杂的非平衡问题时更难.

对复杂系统已经做过预测的人都知道，最困难的是要提出有深刻含义的问题，同时给出简单的定量回答. Taylor 伟大的天才在于不断地从复杂的过程或实验中发现能提炼简单特征的方法，不仅由此导致可定量检验的预言，而且以后的研究者都发现 Taylor 的提炼是了解该系统最重要的定量方面. 在“讲授 Taylor”的过程中有许多机会来关注这种解决科学和工程问题的方法的价值，并同更加现代和有力的方法 (例如直接计算系统的每个特征) 进行比较. 尽管对两种方法显然都有很多可说，但前一种方法的例子少而又少，而后一种方法的讲授要容易得多.

本课程的大纲如下面的表 1 所示. 一般说来每星期有两个 90 分钟的课程，评论一篇文章或者有时二、三篇为一组的文章. 文章在课前分发，要求学生事先阅读. 有几次我们安排几篇最近的评论文章或者与之紧密相关的研究论文. 我们也组织过几次专门的讨论会，由本系教员或访问学者作报告. 我们要求这些讲演者把“Taylor 以来的某某专题”作为他们的报告的框架.

表 1 课题大纲

1. 引言性评论	G.I. Taylor 的研究概观；1900 年前后流体力学研究状况
2. Taylor 的第一、二篇文章	低光强时的衍射，激波的规律
3. 不稳定性	Taylow-Couette 流动；Saffman-Taylor 问题；Rayleigh-Taylor 不稳定性
4. 湍流	大气中的旋涡扩散；连续运动的扩散；湍流的统计理论；旋涡的破裂
5. 旋转流动	Taylor-Proudman 定理；粒子运动和 Taylor 柱
6. 层流中的离散	Taylor-Aris 离散；分子扩散率的测量
7. 固体力学	位错和固体强度
8. 低雷诺数时的游动	
9. 液滴和气泡	液滴变形和破碎；混合物的粘度；乳胶
10. 电流体动力学	有渗漏的介电模型；锥形界面
11. 表面张力	薄膜、脱落、水钟
12. 激波	
13. 爆炸	

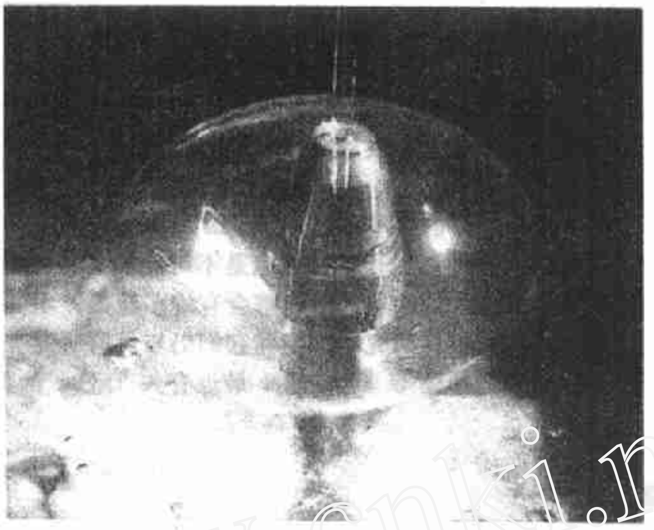

图 2 当一股水流撞击到一个封闭圆柱体的顶部时形成一个水钟，水流的撞击产生一个很薄的流面，它包在圆柱体的周围形成一个美丽的“钟”. 这种流动图形首先由 F. Savart 在 1833 年作过分析， Taylor 给出了描述钟的形状理论. 这张照片是由 R. Buckingham 在 MIT 数学系的流体动力学实验室内在 J. Bush 指导下拍摄的

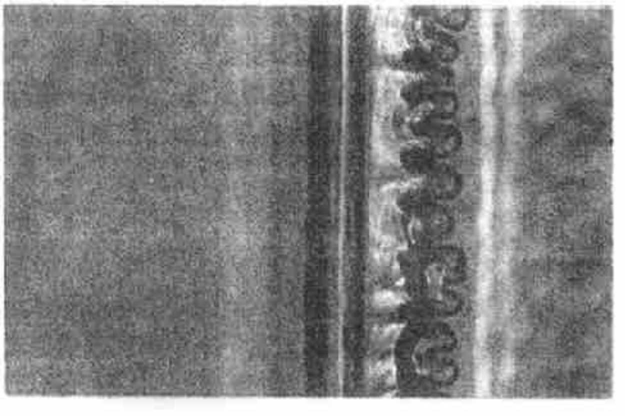

图 3 易粘胶带在剥落时的不稳定性. Taylor 在 1964 年 (78 岁) 研究了这个问题，并且证明了在易粘流体中粘性应力对它的 ‘粘附性’ 起重要的作用. 当易粘物从固体表面剥落时，作用压力和表面张力之间的抗衡导致一种具有完全确定波长的不稳定性. 对流体力学不稳定性与粘附的关系的兴趣一直延续至今 (需要了解者，可参看 C. Gay 和 L. Leibler 在《Physics Today》杂志 1999 年 11 月第 48 页上的一篇文章).

2 初步介绍

为了讲授 Taylor 的研究工作，我们以 Sydney Goldstein 发表在《流体力学年鉴 (Annual Reviews of Fluid Mechanics)》第 1 卷上的第 1 篇出色的综述文章 [2] 为基础. 用第一堂课综述了二十世纪初 Taylor 涉足之前的流体力学研究状况. 尽管在二十世纪初对流体流动已知之甚多，但在理论和实验的关系上存在很多分歧和争议. 1916 年 Rayleigh 爵士为《自然》杂志写了一篇有关 H. Lamb 的第四版流体动力学的评论，文中他说道“可能理论流体动力学能与实验比较的时代尚未来到， …… 我们可以预期不久实验就会与理论流体动力学有更为密切的关系.”

当时的一个主要问题是在固体表面的流体速度的准确边界条件仍然不确定，以及这些边界

条件是否与流体的运动状态无关．尽管 L. Prandtl 1904 年的工作引进了粘性边界层，指出了解决的方向，他的想法也只是逐渐被接受和理解的． S. Goldstein 写道，到二十世纪中叶这些问题大部分被解决了，“几方面的因素 …… 对此有贡献，但影响最大的是 G.I. Taylor 的例子．”

接着我们讨论 Taylor 的文章，我们在表 1 中综合的选择次序是试图按照教学的要求排列的．我们从 Taylor 最早的两篇科学论文出发，当时他还不到 25 岁，接着阅读他的不稳定性、湍流、旋转流动等一系列文章．

本文的其余部分给出了某些题目的简单综述． Taylor 对流体和固体力学的贡献如此之多，因此在一门课程内即使是对他的定性思想作出评述也是不可能的，并且超出了我们的能力，何况在一篇文章中更是做不到，因此，无论哪种情况都会有许多疏漏．本文的选题除着重讨论教学上最有用的内容外，旨在反映 Taylor 研究的广度和它们仍与目前研究有关．有关 Taylor 工作和生活的更详尽的情况，我们推荐阅读 G. Batchelor 最近有关 Taylor 的传记 [3] 和最近的几篇评论文章 [4,5]．

3 微弱光线的干涉条纹

我们通过 Taylor 在 1909 年发表的第一篇科学文章来开始了解 Taylor 研究．这是他唯一的一篇不属经典物理学的文章，但是它具有反映他随后的全部工作的“实验”特征．应 J. J. Thomson 的要求， Taylor(在他双亲家中的子女住的房间里) 作了一个实验，以确定当光强显著减弱时衍射斑图是否有定性的变化． Taylor 指出， Thomson 认为斑图会有变化． Taylor 对一个针头的阴影在改变光强 (通过烟熏过的玻璃屏幕遮住光源) 时照了像．当强度减弱时他增加了曝光时间，使光在照像纸上的总量保持常数．有的实验相当于一根蜡烛在一英里远处的光强，要花三个月的时间．有的实验甚至是在 Taylor 驾驶快艇时做的． Taylor 观察到衍射斑图没有任何变化．他写了两页的文章描述了这个结果，然后放弃了这个研究方向．

4 气体中的间断运动

Taylor 的第二篇科学论文发表在 1910 年．当时他只有 25 岁，这篇文章获得了剑桥大学为高年级数学学生颁发的 Smith 奖．这篇文章解决了流体力学中一个长期悬而未决的基本问题． G.G. Stokes 曾注意到，如果一个较慢的气体区域在一个较快区域前运动时气体速度在有限时间内形成间断是有现实可能性的．这种现在被称为“激波”的间断，是很容易从理想 (无粘) 流体动力学的方程组导出的．它们表现出奇异性，因为速度梯度在间断处为无穷．当时人们并不知道在这种激波形成后会发生什么现象． Taylor 证明了在真实气体中不连续性可能因耗散效应消除 (粘性和加热二种效应)．这个解 (Rayleigh 在 1908 年 66 岁时定性上认识到) 是气体动力学中的一种最基本的特性．

5 Taylor-Couette 文章

我们详细讨论的第一个题目是 Taylor1923 年有关 Couette 流动 —— 两个同心旋转圆柱之间的流动 —— 的不稳定性的文章．有趣的是写论文的动机． Taylor 看到，为了发现流动不稳定性的数学表述，已经做了很多的努力，但迄今都没有成功 [6]．当时稳定性的概念已经表述得很清楚了，很多作者 (包括 L. Kelvin, Rayleigh, H. Hopf, A. Sommerfeld) 都努力预测过流体动力学方程解的不稳定性．遗憾的是，没有一个计算与实验相符合．预测不稳定性的失败极大地造成困惑和混乱．例如， Hopf 建议可能必须考虑边界的刚性来解释槽道内剪切流动的不稳定性．(Taylor 评论道： “看来不会有人推荐这个理论去解释观察到的流体的湍流运动”[6])

Taylor 的文章是一个重大的睿智的成就，它是代表稳定性计算与实验定量相符的第一个例

子. 事实上所作的比较应归功于 Taylor 的洞察力，他发现在各种可能的不同实验中，旋转圆柱容器最适合于理论和实验之间的定量比较. 他的工作清楚地证明了在稳定性计算中所用的方法和它的基本假定 (边界条件) 都是正确的. 正如 Goldstein 在他的评论文章所说的那样 “必须做数学的简化 ……, 但不应引起任何争议”[2].

Taylor 的文章的技术细节，即从理论上和实验上看都同样是非常出色的. 对任意半径的内圆柱和外圆柱，推导出失稳临界值的计算是非常烦琐的. 导出的每一个公式都大约有一页长，还包含了贝塞尔函数的行列式. (在讲课中，我们利用窄缝极限回避了代数运算，这种窄缝极限首先由 H. Jeffreys 在 1928 年引进并由 S. Chandrasekhar 详细地展开 [7].) 当时，确定公式本身的数值就是一大难题. 设计一个与计算假定一致的实验同样是很棘手的，特别是圆柱的端部效应不能影响不稳定性的发生. 如图 4 所示，不稳定性边界作为二个圆柱的旋转速率的函数的结果与理论非常一致，并且 Taylor 的几张流动照片仍然可以再现. 令人惊奇的是 Taylor 实际上测量的实验稳定性边界的点比他理论计算的点要多，这可能是由于计算贝塞尔函数行列式是非常麻烦的.

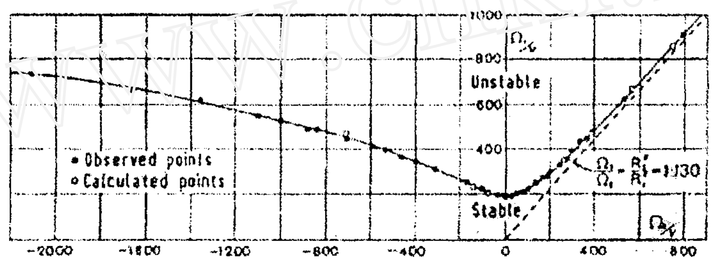

图 4 Taylor-Couette 稳定性. 这张图取自 Taylor1923 年有关二个同轴旋转圆柱间流动的稳定性的文章，这是流体流动稳定性的理论计算与实验定量符合的第一个例子. 图上表示了作为外圆柱的转速 (纵坐标) 和内圆柱的转速 (坐标) 的函数的稳定性边界. 虚线 $\Omega_1 R_1^2 = \Omega_2 R_2^2$ 是以前 Rayleigh 爵士给出的理论. 实心点代表实验测量；空心点是理论计算的稳定性边界. 由于理论计算得到的公式的数值计算非常复杂，所以实验数据点要多于理论点.

在论文的最后， Taylor 描述了他观察到的在超过不稳定性临界值以后的旋转圆柱容器内存在的全部非线性状态. 随着圆柱相对速度的增加，流动从定常态变为随时间变化的理发馆的旋转柱的旋涡斑图，再变为湍流的不规则流动. R. Feynman 在他的讲课中归纳如下：从 Taylor 的工作中学到的主要内容是隐藏在 Navier-Stokes 方程背后的许许多多不同的特性. 所有的解都满足同样的方程，只是具有不同的旋转速度. 我们没有理由去想在这些方程中遗漏了哪些项. 唯一的困难是我们今天还没有数学能力来分析它们 ……. 虽然我们已导出了一个方程，但这并没有使流体流动失去魅力、神秘或惊奇 [8].

6 连续运动的扩散

Taylor 对湍流的工作集中反映在通过建立能与实验数据直接和定量比较的数学理论来描述湍流的不懈努力上. 在本学期，我们讨论了 5 篇 Taylor 有关湍流的文章，始于他 1915 年作为里程碑 (基本上是不易阅读的) 的文章 “大气中的旋涡运动”, 终于他 1939 年的文章，在这篇文章中他引进了现在熟知的 Taylor-Greene 涡. 构造了 Navier-Stokes 方程的一个解，它能证实湍流的能量串级.

一般说来， Taylor 对我们了解湍流的贡献是，他注意到通过气体运动论比拟，人们应该找到一种统计描述. 因此，他的目标是寻找能预报流动统计性质的方法. 他最重要的贡献可能是如下的公式 (1923 年的文章中给出):

$$\frac{\mathrm{d}\langle x^2\rangle}{\mathrm{d}t}=\langle v^2\rangle\int C(t-\xi)\mathrm{d}\xi$$

这里 $\langle\cdot\rangle$ 表示时间平均， x 表示位置， $C(t-\xi)=\langle v(t)v(t-\xi)\rangle/\langle v(t)^2\rangle$ 是速度关联函数.

从某种程度上来说，这个公式是一个普通的数学恒等式，它与实际流体运动的细节无关. 但是这个公式代表了两种不同类型的实验测量：左边给出了流动中示踪粒子的弥散并且可以通过在一个湍流流动中观察染料的扩散来测量；右边可以通过在不同时刻对速度场的取样以检测关联来测量. Taylor 证明了关联函数足以确定一个平稳随机函数的统计性质，这一思想在流体力学界以外有重大的影响. 例如， N. Wiener 在叙述他开始研究随机函数时写道：

“我是一个读起杂志来废寝忘食的人，特别是阅读伦敦数学学会会刊. 那里我看到过一篇 G.I. Taylor, 以后成为 G.Taylor 爵士，有关湍流理论的文章 ……，文章与我本人的兴趣有关. 例如空气粒子在湍流中的途径是曲线和 Taylor 文章的物理结果与一族曲线上的平均或积分有关 [9].”

Wiener 继续说， Taylor 代表了科学上的一种特殊的英格兰风格：具有专业能力的业余爱好者. 上面的公式对发展湍流理论有着巨大的影响：直到今天人们还相信，从基本方程需要预测的基本量是关联函数.

7 Taylor 离散

Taylor 最有用的一个结果是在流动的流体中溶质的离散. 研究这个题目的动机是要了解血液流动中药物的离散情况；其他方面的用处也很多. 他的思想是考虑在一个半径为 a 的直圆管内的定常层流流动，要了解开始时局地的溶质是如何随时间离散的.

如果没有任何分子扩散，由于垂直管轴方向上有很大的速度梯度，溶质会很快地被流动扩展开来. Taylor 认识到分子扩散实际上是阻碍这种离散的：分子扩散强迫在圆管中心的溶质向流动得较慢的管壁附近扩散. Taylor 证明了如果浓度以 $c(r,z,t)$ 表示，这里 z 是沿圆管的轴向，面积平均的横截面浓度是 $\langle c\rangle(z,t)$, 则平均浓度的演化是由对流 - 扩散方程

$$\frac{\partial\langle c\rangle}{\partial t}+\langle u\rangle\frac{\partial\langle c\rangle}{\partial z}=\mathcal{D}\frac{\partial^2\langle c\rangle}{\partial z^2},\quad 这里\ \mathcal{D}=D\left(1+\frac{1}{48}\frac{\langle u\rangle^2a^2}{D^2}\right)$$

支配的. 其中 D 是分子扩散常数 [10]. 溶质的质量中心以平均速度 $\langle u\rangle$ 运动并且相对平均值按高斯分布. 而平均值随 $\sqrt{Dt}$ 成正比例增加. 对离散的最大贡献来自 $\frac{1}{48}\frac{\langle u\rangle^2a^2}{D}$ 项，它反比于扩散系数. Taylor 还用这种想法来测量分子扩散常数，这是迄今仍在使用的一种方法 [11].

8 粘性流体动力学

E. Purcell 的文章 “低雷诺数的生命” 使粘性流体动力学在物理学界得到普及. 在这篇文章中，他描述了与 H. Berg 合作了解细菌推进的工作 [12]. 可能大家并不了解，有关这个题目公认的第一项工作是 Taylor 的文章 [13]. Purcell 写道：

“但是，当时 Taylor 在皇家学会会刊上的文章只能以三篇参考文献结束： H. 兰姆，流体动力学； G.I. Taylor (他前一篇文章); G.N. Watson, 贝塞尔函数，这叫 ‘从地下室进来的’.”

Taylor 在这个题目上的兴趣虽然是受与剑桥大学动物学家 J. Gray 交往的启发，低雷诺数推进的主要困难是运动是可逆的. 通过可逆的运动，人们总可以回到出发点. Purcell 用扇贝定理来普及这种想法. 这个定理说，一个扇贝 (一种只有一个关节的物体) 在粘性流体中是不能游泳的.

Taylor 研究了一些破坏了可逆性的简单的游动状态，并证明了运动是如何成为可能的. 例如通过明确的计算，他证明了沿浸没在流体中一薄片上传播的横波使该薄片匀速平动. 这些想

法有很多应用，从微机械的设计到奇怪生物推进机制的假设． Taylor 也制作了迄今仍有用的教学电影“低雷诺数流动”．这部电影很多人是熟悉的，并被推荐作为 Taylor 的创造力和判断的佐证．

9 蛇的游动

Gray 也激起了 Taylor 对蛇的游动的兴趣．蛇的各类变形是如何产生向前推力的呢？乍一看来，这个问题很难，因为由蛇引起的流动显然是湍流，所以理论不存在．但是 Taylor 注意到有很多实验数据是有关作用在湍流圆柱体上的力的，他便利用这些数据作为他的理论的基础．通过把蛇模拟为一组圆柱体的组合，他计算了游动的速度，该速度是变形的函数．这样，他就可以定量解释蛇是如何游动的性质 —— 例如使它运动最快时蛇的波的振幅．可能他最有趣的发现是一条具有粗糙表面的蛇可以通过向前进方向传送波来向前游动． Taylor 写道，“向 Gray 教授展示结果后，他叫我注意他对海洋寄生虫所拍摄的一组照片 (Nereis diversicolor)，这种寄生虫确实是用这种方法游动的”[14]，而且正如预见的那样，寄生虫具有粗糙的表面．

10 Taylor 柱

在一个以角速度 Ω 作迅速旋转的定常流动中，压力梯度和 Coriolis 力是主要的． Navier-Stokes 方程简化为

$$2\rho\boldsymbol{\Omega}\times\boldsymbol{v}=-\nabla p$$

这里 ρ 是流体密度， p 是压力．对这个方程取旋度，就导出速度与沿旋转轴的坐标无关的结论．因此流动实际上是二维的．这个结果首先是由 J. Proudman 在 1915 年证明的．现在称为 Taylor-Proudman 定理．

冠以 Taylor 的名字是因为他提出了一个问题：当流动的二维性质受到扰动时会发生什么现象？在 1923 年发表的一篇文章中，他报道了如下实验：在一个旋转的容器的流体中放置一个短柱体，并且相对于流动拖曳该柱体．当然在没有旋转时，短柱的运动会在所有方向上扰动流动．它是如何与 Proudman 的结果联系在一起的呢？实验证明 Taylor “惊人” 的结论是：流动保持二维！物体使平行旋转轴的整个流体柱几乎固定不动．因此在旋转环境中，一个缓慢移动的物体几乎与一个沿旋转轴平行延伸的柱体的作用相同，这一思想对大气和海洋运动有很多的应用，因为地貌会产生‘柱形’扰动并阻塞相当高度上的气流．

图 5 Taylor 柱．当一个物体在一个旋转流中运动时，它要带动一个与旋转轴平行的流体柱与它一齐运动．这张照片显示了当一个染色的塑胶液滴 (半径 2 cm) 在以 56 rpm 转速旋转的大水箱中上升时的流动情况 [17]

11 电流体动力学

Taylor 在他晚年花费了许多时间研究流体与电场的相互作用，他最重要的贡献 —— (在 80

岁时做的) 是他已认识到完全导体或完全绝缘体的理想化在研究电场力占优的流动时会产生误导. 总会有一些残余自由电荷, 残留在两种不同流体间的界面上. 因此, 任何与界面相切的电场会产生一个切向应力, 而且这种应力只能通过粘性流动来平衡.

Taylor 发现这个基本概念是在试图解释一个实验反常现象, 他观察到在一个均匀外电场中绝缘液滴的形状有反常性. 简单的力能学预言这样的液滴应该沿场强的方向拉长, 然而某些流体的液滴沿场强的方向上实际上却缩短了. 因为上面所述的切向电场应力要求一种定常粘性流动来平衡, 液滴的形状不能通过能量最小化来得到. 用电导率和介电常数来表示的流体叫 '有泄漏的绝缘体模型'[15].

12 核爆炸

如果没有包括常常提到的有关 Taylor 计算核爆炸能量的故事, 任何有关 Taylor 的文章都不能算是完美的. 这个故事的传说很多, 正如 Taylor 自己所说的 [16], 在第二次世界大战的早期, 英国政府告诉他要发展原子弹, 并要求他考虑这样的一次爆炸所产生的力学效果. 他认为由原子弹释放的能量会很快丧失它对初始形状和分布的记忆, 并且在空气中产生一个强激波, 远离地面的激波的结构是非常近似于球形的.

通过这些简化 Taylor 认识到问题中的参数是能量 E, 空气密度 ρ, 空气压力 p, 爆炸波的半径 $R(t)$ 和从起爆算起的时间 t. 因为爆炸非常强, 空气压力不会对波产生什么影响. 因此压力不是一个有关的参数. Taylor 认识到, 这就表明存在一个能表征整个过程的无量纲数; 读者可以证明 $Et^2/\rho R^5$ 是无量纲的.

由于这个量不依赖于问题的任何方面, 它一定是一个常数. 这就表明爆炸波的半径由下式给出

$$R(t) = c(Et^2/\rho)^{1/5}$$

其中 c 是一个常数. 事实上根据计算可以得出空气的 $c \approx 1.033$. 因此对给定的一张显示爆炸半径的照片, 一个参考长度尺度和从起爆算起的时间, 人们就可以推算出能量.

过后很久, Taylor 用 J.E. Mack 在新墨西哥州第一颗原子弹爆炸所拍摄的照片作了分析. 这些照片是在起爆后精确的时间间隔上拍摄的, Taylor 证实标度律与数据符合得非常好, 在 50 年代初期独立发现爆炸标度律 (作者包括 J. von Neumann 和 L. Sedov) 的几篇文章中, 只有 Taylor 的文章是采用可公开获取的数据来证实上面的方程与实验相符的.

有很多题目我们在这篇文章中或者在我们的课程中没有能涉及到, 其中大量是 Taylor 对固体力学的贡献. 看来重新设计一门围绕 Taylor 文章的课程将会列出完全不同的题目. 我们鼓励有兴趣的读者去浏览一下 Taylor 的文集, 并利用他的文章作为阅读现代文献的途径来设计他们自己的课程.

致谢 很多人对本文的初稿提出了建设性的批评意见. 我们感谢 H. Huppert 提出了很多有益的建议, 从而改进了最后的手稿.

参 考 文 献

Batchelor G K, ed. Scientific papers of G.I. Taylor. Cambridge U P, Cambridge, England, 1971

Goldstein S. *Ann Rev Fluid Mech,* 1969, 1(1)

Batchelor G K. The Life and Legacy of G.I. Taylor. Cambridge U P, Cambridge, England, 1996; reviewed in *Physics Today*, June 1997: 82

Bell J K. Experimental Mechanics, 1995, 1

Turner J S. *Ann Rev Fluid Mech*, 1997, 29(1)

Taylor G I. *Phil Trans Roy Soc Lond*, 1923, A 223: 289

7 Jeffreys H. *Proc Roy Soc Lond,* 1928, A 118: 195; Chandrasekhar S. Hydrodynamics and Hydromagnetic Stability. Oxford U P, Oxford, England, 1961
8 Feynman R P, Leighton R B, Sands M. The Feynman Lectures on Physics, Addison-Wesley, Reading, Mass, 1964 vol 2. 41.11
9 Wiener N. I am a Mathematician. Cambridge, Mass: MIT Press, 1956.
10 Taylor G I. *Proc Roy Soc Lond,* 1953, A 219: 186
11 Bello M S, Rezzonico R, Righetti P G. *Science,* 1994, 266: 773
12 Purcell E M. *Am J Phys,* 1977, 45(3)
13 Taylor G I. *Proc Roy Soc Lond,* 1951, A 209: 447
14 Taylor G I. *Proc Roy Soc Lond,* 1952, A 214: 158
15 Melcher J R, Taylor G I. *Ann Rev Fluid Mech,* 1969, 1: 111. Saville D A. *Ann Rev Fluid Mech,* 1995, 29: 27
16 Taylor G I. *Proc Roy Soc,* 1949, 201: 11
17 Bush J W M, Stone H A, Bloxham J. *J Fluid Mech,* 1995, 282: 247

(北京大学力学与工程科学系　黄永念　译自 Physics Today, May, 2000: 30~35
中国科学院力学研究所　李家春　校

MODERN CLASSICAL PHYSICS THROUGH THE WORK OF G.I. TAYLOR

M.P. Brenner

Department of Mathematics, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, USA

H.A. Stone

Division of Engineering and Applied Sciences, Harvard University, Cambridge, Massachusetts, USA

Abstract One scientist's work provides material for an entire course, covering topics ranging from hydrodynamic stability and turbulence to electrohydrodynamics and the locomotion of small organisms.

Keywords hydrodynamic stability, statistical theory of turbulence, explosive wave, rotating flow, dislocation