

物理学咬文嚼字之九

流动的物质世界与流体科学

曹则贤[†]

(中国科学院物理研究所 北京 100190)

“ Πάντα ρεῖ (万物皆流动)”

——Heraclitus

“不废江河万古流”

——杜甫《戏为六绝句》

摘要 与“流”有关的中西文专业词汇都非常多,与流体有关的学科名词就包括 Fluid Mechanics, Fluid Dynamics, Hydrodynamics, Aerodynamics, Rheology, Magnetohydrodynamics 等等。由于学科发展和向中文转译方面的历史原因,这些词汇的中文文字面容易引起歧义。电流变液(电-流变液)一词就经常被误读为电流-变液。

关键词 流 流体 流变学

古希腊文明是西方近代文明的精神支柱与思想源泉。古希腊哲人的语录在西方科学、哲学与文学艺术文献中随处可见。非常有影响力的、也为我国人所熟知的有毕达哥拉斯的“万物皆数”(英文有“everything is number”和“the whole thing is a number”的说法)强调的是物理世界在规律层面上的数学本质!类似的还有赫拉克里特(Heraclitus of Ephesus (536—475 BC))的名言“万物皆流动(Πάντα ρεῖ)”,这里“流动”的最贴切的意思是指变化(becoming),即变化是万物存在的形式。赫拉克里特哲学的中心思想更全面地体现在下面这句话中:“All things flow, everything runs, as the waters of a river, which seem to be the same but in reality are never the same, as they are in a state of continuous flow.”——就是我们常引用的“人不能两次踏入同一条河流(you cannot step in the same river twice)。”这里就引出了本篇的主题:流动的物质世界和关于流动的科学。本篇题头的万物皆流动这两个希腊字 Πάντα ρεῖ 还被写到国际流变学会的会标上。原文完整的句子是“Πάντα ρεῖ καὶ οὐδὲν μὲν εἶ (万物皆流动而无一物不变)。”

流动描述物质世界时空上的变化。毫不奇怪,与流动相关的词汇在物理学中随处可见。流动当然也是非常贴近生活的词,这样与“流”有关的词难免缺乏明显的科学术语与日常用语之间的界限。与流有

关的中文词汇俯拾皆是,如流通、流氓、流行、流程,科学点的有电流、对流、交流电、流体、流量、物流管理等。英文词汇与“流”有关的有 flow, flux, fluid, fleet, fluctuation, fly, flood, river (Fluß), current, currency, fluent (influence, confluent), fluxion, rheology, rheometer (粘度计),等等。因我的办公室没有窗户,几年来我一直像厌氧菌一样生活着,记忆力基本消失,所以一时想不起那么多,肯定还有遗漏。这些词汇同中文的对应问题参差不齐,容慢慢辨解。

英文流动最常见的动词为 flow, 相连接(contiguous)的名词和动词形式有 fluid, flux, fluency, flood, fly, flee, fleet, float, 等等。这个词的前身是拉丁语的 pluere (下雨), fluere (流动),¹⁾我猜测其中间应通过德语的 fließen (直陈式过去时为 floh, 发音与 flow 同)。这些词多少会在科学文献中出现。比如 flood 是 flow 的名词形式之一,大水的意思,但它本身也是动词。Flood 也用在物理学中,如表面分析仪器中会用到 electron flood gun。其发射的电子能量只是几个电子伏特,未刻意地加以聚焦,因此像洪水一样漫过(带正电荷的)绝缘体样品,以消除其上因受带电粒子轰击引起的荷电效应。很奇怪的是,中文

2008-02-26 收到

[†] Email zxcao@aphy.iphy.ac.cn

1) 西语中 v b p f 几个字母是相通的——作者注

将之翻译成电子中和枪,只强调设备功能而对原文字义视而不见(从原文能直观地想象设备的工作方式而中文却不能)。倘若中文科技翻译者不熟悉这套仪器,估计“中和”二字就直奔 neutralization 去了。



图1 流动(flowing)的水面起伏荡漾(fluctuating),波光潋滟(ondulatory)

流动的最直观图像是河里的水流。因此可以想象流动一词可能会和河有关,中文干脆就有河流的说法。英语 River 一词经常被翻译成河,但它的动词形式是 rive, riven(德语 reißen),实际意义是同开挖、撕扯、切割(to slit, to cut)相联系的,更好的中文对应应是沟壑、沟渠,所以它字面上和 flow, fluid 离得较远。和 flow 形近的河流一词是德语词 Fluß,它还有熔液、流出物的意思。注意到水基本上是理想流体,粘滞系数小,有轻灵明快的形象,所以有某人可以说一口流利(fluent, fließendes)的中文(English, Deutsch)的说法。当然,如果水流能充分利用重力的话会流得更快,所以说说话流利的高境界为“口若悬河”。而流动的水面不能保持平静,会起波纹(undulate),所以又由此衍生出 fluctuate 一词(图1),其名词形式为 fluctuation,中文译为涨落。涨落在中文语境中同潮水相联系,动静有点儿大。涨落是近代物理学关键概念之一,应当好好体会。

以 Fluß, fluency 为基础衍生出来的词,其中的 influence, influenza, confluence 几个词值得多说几句。Influence(影响)源自 in + flow,流入的意思,把意志、想法注入,即所谓施加影响。Influenza(流感),来自意大利语的 Influenzia,意思比影响多一点,是按照星相学的观点,认为中世纪时常造访意大利的流感是自灾星(Disaster = 灾 + 星)流入的,类似中文的命犯太岁。The influenza 现在一般简写为“the flu”。我印象中好像有 Influenza 因 1743 年流感侵扰 Florenza(佛罗伦萨,早先的文学作品中有译成

翡冷翠的。好像港台地区仍沿用此译法)城造成大量人口死亡,所以有 Influenza 来自地名 Florenza 的说法。实际上, Florenza 来自 Flora,是“花”的意思。而 Confluence = flow + together,流到一起,有同流(未必一定要合污)的意思。数学上有 confluent hypergeometric functions,汉译合流超几何函数。这里“合流”指的是该函数依赖于两个参数的事实。以此函数作为解的方程,即合流超几何方程,随两个参数可以变化出 28 种形式之多。著名的贝塞尔函数、厄米特函数、拉盖尔函数都是合流超几何函数的特例。

中文含“流”的重要词汇包括电流(electrical current)流通物(currency,就是钱)这里“流”的对应词 current, currency 与 flow 看起来就不一样。这个词来自拉丁语 currere(跑),中间有古法语形式 curant。跑虽然和流动形式上有区别,但本质上都是时空变化的意思。与 current, currency 同源的词有 Curriculum(拉丁语,课程表,英语直接继承了这个词),它本身还是 running(流动变化)的意思,强调的是它要随时更改的本性,我个人觉得还是翻译成流程表比较恰当些,因为一个“课”字把它限死了。Curriculum vitae(生命流程)对应中文的个人简历,非常好,简历里列的可不就是生命的流程。又,英文个人简历的另一个表达是捡的法语词 résumé,是重新拾起的意思,中文较形象的对应为“翻老皇历”,当然这个词本身也有“简单的,概括的”的意思。

人类在对“流”的认识基础上发展了关于“流”与流体的科学。当然,第一步需要建立对“流”的度量,所以引入流量的概念是必须的。流量的定义为荷载某个性质的个体(分子、原子、电子等)在单位时间内通过单位面积的数目。比如电流表征的就是单位时间内通过单位面积的基本电荷的数目。测量电流的电流计是以科学家的名字命名的,为 Ampere Meter,这里没有与“flow”相关的字。而电荷是被电子带着跑的,所以电流是 current!测量通过一个管路的气流流量的设备为质量流量计(mass-flow meter),气流量的单位为 SCCM(standard cubic centimeter per minute,每分钟标准立方厘米),这里的流量应为 flow rate。类似的流量一词还有 flux,但汉语一般称为通量,以示区别。磁通量(magnetic flux)定义为磁感应强度 B (magnetic field)乘上面积,其实如认定磁通量是基本的,磁感应强度 B 则是单位面积的磁通量,这样和其他各种流量的定义就回归到字面上的统一了。电磁学由浅入深的发展过程,造成了许多错误认识,且一些错误依然顽固地出现在文献

中,具体讨论超出本文范围,从略。

对流体的研究产生了流体力学这门学科。流体力学英文有 Fluid Mechanics, the Mechanics of Fluids 两种不同表述。流体 (fluid) 一般意义上是指液态的物质,但在物理学的范畴内,流体也包含气体。因此,流体力学研究的是静态的和运动中的气体与液体。流体力学又分为流体静力学 (Fluid Statics) 和流体动力学 (Fluid Dynamics),前者研究的是稳态 (stationary) 流体的行为,后者研究的是流体的流动行为。流体动力学进一步地又分为水动力学 (Hydrodynamics, 研究水流,实际上是研究所有的理想流体) 与空气动力学 (Aerodynamics, 研究空气流)。但是,Hydrodynamic (水+力,来自希腊语) 这个词用法比较混乱,在中文语境里经常会被翻译成流体力学的、液压的、水力的等不同词汇。在西文中,Hydrodynamics 有时和 Fluid dynamics 也没有区别,比如磁流体力学就有 Magnetohydrodynamics 和 Magnetofluidynamics 的写法。

真实物质的流动性由其应力-形变关系来表征。简单的流体,其应力-形变关系满足牛顿粘性定律 $\tau = \eta \dot{\gamma}$, 即剪切速率 $\dot{\gamma}$ 随剪切应力 τ 线性地变化,其比例常数 η 称为粘滞系数,是材料的本征特性。满足牛顿粘性定律的流体则称为牛顿流体。典型的牛顿流体包括水、酒精、蜂蜜等。其行为特征是,只要施加一个不为零的剪切力就能引起液体的流动。这类液体的大面积液面在重力场下是平直的,故有“水平”的说法。与水、酒精这类简单液体不同,许多易变形的材料会表现出复杂的应力-形变关系;这类复杂流体包括高分子材料、悬浮液、各种膏、糨糊等等。这些复杂流体需要一个大于某个临界屈服应力的剪切力才能够引起流动。临界屈服应力的存在,使得复杂流体会表现出许多非常奇异的甚至是意想不到的行为来。如果临界屈服应力的值足够大,不能由重力提供,则该液体在重力场下能够保持其液面的形状不变 (图 2)。这就是为什么孩子偷吃巧克力酱容易被发觉的原因^[1]。

复杂流体的形变与流动行为就是流变学 (Rheology) 的研究内容。Rheology 这个词来自希腊语,就是题头中的 ρεῖ (Rhe), 流动的意思。西文用 Rheology 不用 Fluid dynamics, 中文用流变学而非流体力学,都是为了突出这类流体不同寻常的地方。流变学的研究无论对日常生活还是高科技领域都具有重要的意义。上世纪 50 年代,人们相继开发出了磁流变液 (magnetorheological fluid) 和电流变液 (electrorheological fluid), 即分别由磁性微粒和纳米介电颗粒加入载液中所形成的复合材料体系。电(磁)流变液中的颗粒在外加的电(磁)场下会聚集,使得材料表现出液体-类固体相变行为 (图 3)。这样,这类流变材料的剪切强度能通过外加电(磁)场连续、快速和可逆地调节^[1,2]。这种软硬可调的奇特性质,可以用来实现机电一体化智能控制,具有广泛的应用前景。电(磁)流变液的一些典型应用包括通过电控阻尼实现的主动或半主动减振、对机械传动装置的离合和制动的控制、流体阀门控制,等等。可以说,电(磁)流变液在几乎所有的工业和技术领域,包括军事与航天领域,都有重要的应用。中国科学院物理研究所陆坤权研究员领导的课题组率先获得了屈服应力高于 200 kPa (远高于实用化所需的 30 kPa) 的极性分子型电流变液,相关研究结果一直处于国际领先地位。



图 2 牛顿流体同流变液体的区别。水(左图)是典型的牛顿流体,其表面在扰动后很快会恢复原状,而乳胶漆则不行

logical fluid), 即分别由磁性微粒和纳米介电颗粒加入载液中所形成的复合材料体系。电(磁)流变液中的颗粒在外加的电(磁)场下会聚集,使得材料表现出液体-类固体相变行为 (图 3)。这样,这类流变材料的剪切强度能通过外加电(磁)场连续、快速和可逆地调节^[1,2]。这种软硬可调的奇特性质,可以用来实现机电一体化智能控制,具有广泛的应用前景。电(磁)流变液的一些典型应用包括通过电控阻尼实现的主动或半主动减振、对机械传动装置的离合和制动的控制、流体阀门控制,等等。可以说,电(磁)流变液在几乎所有的工业和技术领域,包括军事与航天领域,都有重要的应用。中国科学院物理研究所陆坤权研究员领导的课题组率先获得了屈服应力高于 200 kPa (远高于实用化所需的 30 kPa) 的极性分子型电流变液,相关研究结果一直处于国际领先地位。

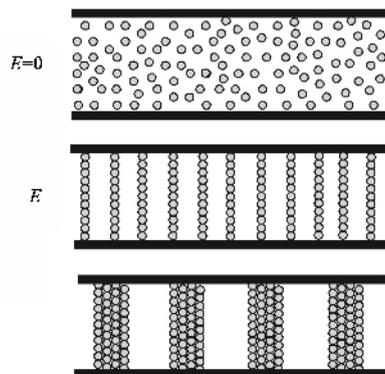


图 3 电流变液中颗粒在逐渐增强的电场下形成链状和柱状的结构

行文至此,想起了翻译中常犯的只知某个事物在一种文字的表达而向另一种文字硬译(实际上硬凑)的毛病,有点个要对实函数进行解析延拓的味道。这里正好籍与“流”有关的词汇作一说明。中文“物流管理”就是一个容易让人往 flow 或者 flux of

materials 方向想的词,而其英文为 Logistics,许多人对此表示困惑.科学上与 logistic 有关的词是 Logistic equation,有人将之翻译成逻辑斯蒂方程.方程的形式为 $dx/dt = rx(1-x)$,它描述生物种群的变迁(population growth).有人认为,这是同牛顿引力方程、爱因斯坦质能方程、薛定谔方程齐名的最具科学之美的世纪方程之一^[3].中文文献目前将之译为“逻辑斯蒂方程”值得商榷.这种翻译容易使人将这个方程与“逻辑学”联系起来.实际上,Logistic 与 logic 毫无关系.Logistic 来自 lodge,是木屋、棚屋的意思,是供猎人狩猎、过往商旅驻足的地方.其延伸的意思包括现代意义上的兵站,管吃管住,负责物资的堆放、发送等;所以,Logistics(后勤学)现代意义还指军事科学里与物资、装备、人员之管理、仓储、运输等内容有关的专门分支.从这个意义上我们就理解了为什么 Logistics 同物流管理有关了.

最后,笔者想强调一下,物理概念的中文翻译容易让人从中文语境对概念加以牵强附会的理解,所以应该格外当心.当然,所有的语言都有这个问题.解决这一难题,笔者个人的建议是用物理图像和数学公式说话,类似全世界的医生用拉丁文开药方.现举对流一词为例.先前笔者头脑中一直有冷热流体对着流动的图像.实际上,对流(convection)英文原意是“携带一起走”的意思,指的是物质在一处吸收热量,流动,然后在别处释放热量的过程,整体上造

成了热流的结果!与 convection 上述意思同源的有 vector 一词,中文译为矢量或向量,但一般文献和教科书对此概念的介绍是错的.在微分几何和代数几何的框架中理解 vector,更有助于理解“万物皆流动”的意境,容另文介绍.

后记 《咬文嚼字》写了几期,一直不知道如何看待这咬文嚼字,是无聊的怪癖,抑或兼有别的真实的意义.2007年12月17日在 Druid Journal 上读到下面这句话:“Not just a word. A guided tour of a tiny piece of the human experience!(不仅仅是一个字.(是)带你游历一小段人类的经验)”我才有茅塞顿开的感觉,算是为自己的这段忙忙碌碌找到了一个体面的理由(justification).是啊,每一个字词后面都有一小段,甚至一大段关于人类文明进步的历史故事.诚盼读者诸君,时常将目光自书本处延长,看一看科学词汇的背后人类文明艰难前行的蹒跚脚步.

参考文献

- [1] Faith A. Morrison. Understanding Rheology. Oxford University Press, 2001
- [2] 陆坤权,刘寄星.软物质物理学导论.北京:北京大学出版社,2006
- [3] Graham Farnelo(ed.), It Must Be Beautiful: Great Equations of Modern Science. Granta, UK, 2003

· 读者和编者 ·

更 正

拙文《形学家的世界》(《物理》2008年第2期第74—78页)经读者指正,有两处错误,现予订正.

(1) 实际上他在1911年就出版了 De Nive Sexangula(论六角雪花)一书,“
应改为“实际上他在1611年就出版了 De Nive Sexangula(论六角雪花)一书,”;

(2) 1941年,汤普森递交了他的硕士论文,后来以“On Growth and Form”作为书名印行^[3].在这篇论文中,“
应改为“1917年,汤普森出版了他的名著“On Growth and Form”^[3].在这本书中,.”

错误(2)是非常严重的.“On Growth and Form”这本书,我手头有.它是用多种语言交错写成的,读这样的书对我来说非常吃力.但我印象中读过一个介绍,说是汤普森的硕士论文.这个印象一直停留在我的脑海里挥之不去,象鬼附体了似的,所以犯下了这样的低级错误!谨向《物理》杂志和读者致歉!

感谢物理所06级研究生高磊同学的指正.

中科院物理研究所 曹则贤