

由式 (2) 可见要发挥重力矩的有利作用, 应保持 θ 在 45° 以下, 因为在此区间内 $\cos\theta > \sin\theta$, 这显然有利于增大重力矩. 当然 θ 也并非越小越好, 在人体的脚背自然绷直, 且保持全脚底接触地面 (增大摩擦力) 的情况下, θ 大约应在 30° 以上.

另外, 由式 (2) 还可导出 θ 与摩擦系数 u 的关系 $\theta = \arctg(k/u)$ (其中 $k = 0.6f_A/0.8T_{BA}$, $f_A = uG_A$). 可见 u 越大, θ 越小, 即在摩擦系数较大 (地面较粗糙) 的情况下, θ 可更小一些; 而在摩擦系数较小 (地面较光滑) 时, θ 应更大一些, 即在地面较光滑时人的身体应该站得更直一些, 这与经验也是相符的.

由以上分析, 可以得出在拔河时身体应取后倾姿势 ($\theta < 90^\circ$), 具体倾角约在 $30^\circ < \theta < 45^\circ$, 但还应根据地面的粗糙程度作出适当调整, 调整范围约在 $30^\circ < \theta < 90^\circ$.

(2) 重力矩与体重的关系

由式 (2) 还可见, 在 T_{BA} 和 θ 一定的条件下, 增加体重 G_A ($G_A = mg$) 也能增大重力矩, 可见大的体重不仅能增大摩擦力, 同时也还有增大重力矩的作用.

综上所述, 可知摩擦力和重力矩是拔河中的两个比较重要的力学因素. 大的体重和适宜的倾斜角, 是增大摩擦力和重力矩的关键, 特别是大的体重分别在平动和转动两个方面都有着积极的作用, 因此从某种意义上来说, 拔河不但是拉力的较量, 同时也是体重的较量, 因此在挑选队员时应应对大体重队员予以足够的重视.

参 考 文 献

- 1 国家体委体育史工作委员会、中国体育史学会编. 中国古代体育史. 北京: 北京体育学院出版社, 1990. 270~271
- 2 赵景员, 王淑贤. 力学. 北京: 高等教育出版社, 1979. 157~161

流 变 学 漫 谈

范 椿

(中国科学院力学研究所, 北京 100080)

摘要 介绍流变学的定义, Bingham 模型, 判断真实材料中弹性和黏性中哪一种性质占优势的无量纲数组成的力学参数 Deborah 数, 简要回顾流变学的发展, 流变学已经、正在和即将在一些重要工业中起到革命性的影响作用.

关键词 流变学, Bingham 模型, Deborah 数, 工业应用

1 流变学的语源

1920 年间, 美国印地安纳州 Lafayette 学院的 Bingham 教授对油漆、糊状粘土、印刷油墨等的流动性感兴趣, 认识到物质的变形和流动科学的重要性. 1928 年他邀请巴勒斯坦的 Reiner 教授到美国作为访问学者工作一段时间. 在接风洗尘的宴会上, Bingham 对 Reiner 说: “我, 一个化学家, 和你一个土木工程师, 一起工作解决共同的问题, 随着胶体化学的发展, 这种工作方式将会变得更加平常. 因此, 需要建

立一个物理分支来处理这类问题.” Reiner 告诉他, 这样的分支是存在的, 并且作为连续介质力学而被人们所认识. Bingham 认为这样做并不好, 这样会吓跑所有的化学家, 需要给它一个新的名字. 他请教了一位当古典文学教授的同事, 采用了 rheology (流变学) 这个名字. rheo 一词来源于希腊语 rheos (流动) 之意. 公元前 6 世纪, 希腊哲学家 Heraclitus 有句名言 “万物皆流”. 从自然辩证法的观点来说, 自然界的一切物质都在变化, 永远静止的物质是不存在的. rheology 定义为流动和变形的科学. 其中文译名没有简单的译成流动学, 而创造性地译成流变学, 流即流动的意思, 变可以有双关的意思, “变化” 或 “形变”. 按照流变学的定义, “形变” 可能更确切一些.

2 流变学和中国的哲学思想

“万物皆流” 也是古代中国哲人的基本思想之一. 孔子站在河边叹道: “逝者如斯夫, 不舍昼夜”, 将时间的流逝比如流水.

本文于 1999-12-16 收到.

陈文芳 (C.F. Chan Man Fong) 教授是中国流变学专业委员会第一届主任委员。他认为：在古时候人们已经在建筑的结构中，在治理河流中，获得关于材料的流动和变形的知识。根据《墨经》记载，两千多年前，我们的祖先已有了材料变形的知识。虽然，产生流动和变形需要力这是个老概念，但古时候的观察和研究没有明确地阐述这二个量之间的关系。

在现代，毛主席在《矛盾论》中指出：“人的认识物质，就是认识物质的运动形式，因为除了运动的物质以外，世界上什么也没有，而物质的运动则必取一定的形式。”

3 Bingham 和流变学

流变学形成独立学科是在 1929 年。这一年，在 Bingham 教授的倡议下，美国成立了世界上最早的流变学学会。同年，流变学家协会会志创刊。

Bingham 教授在流变学学术方面的主要贡献是提出了黏塑性流体的概念。这种流体具有一屈服应力 τ_y ，当剪应力 τ 低于 τ_y 时，流体静止；当剪切应力 τ 超过 τ_y 时，流体像牛顿流体流动。他对这种流体的本构方程，提出了一种 Bingham 模型如下

$$\tau = \tau_y + \eta_p \dot{\gamma}, \quad \text{当 } \tau \geq \tau_y \text{ 时}$$

$$\dot{\gamma} = 0, \quad \text{当 } \tau < \tau_y \text{ 时}$$

其中 $\dot{\gamma}$ 为剪切速率， η_p 为塑性黏度。这种材料的典型例子为牙膏、石油工业中的钻井泥浆，以及自然灾害中的泥石流等都是这种流体，在工程设计的计算中必须考虑其屈服应力。这种流体如果在渠道中流动，则会在中心部分出现一个流核 (图 1 所示)，在流核中间没有相对运动，好像一个固体在上漂流。泥石流可以将一架钢琴沿着较缓的斜坡搬运若干公里。

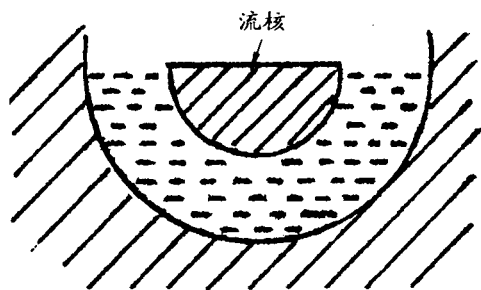


图 1

4 时而固体时而流体的“反跳胶泥”

流变学是研究材料的流动和变形的学科，若要更确切些说，流变学则是研究当力作用在复杂材料上时

(包括卸去外力之后)，材料的力学响应和 (或) 材料结构与材料整体的力学响应之间的关系。复杂材料是指它的力学性质同时显示出弹性和黏性二者组合，称之为黏弹性材料。真实材料中弹性和黏性中哪一种性质占优势？其参数值为何值？这些问题的解决都依赖于应力和施加应力的持久性的长与短。

英籍华人流变学专家陈文芳教授 1979 年秋偕同夫人 Gisela 到北京大学力学系讲授流变学。他在北大 9 年的教学生涯中为中国的现代流变学的发展打下了坚实的基础。他在中国讲学期间的一个暑假和夫人去英国休假，回北大的时候送给我一件小礼物，俗称为“反跳胶泥”的有机硅材料。它是非常粘滞的，但当把它放入一个外形是蛋壳的容器内，经过足够长的时间后再打开，就会流成水平。然而，正如其名称所示，把它搓成小圆球往地板上掷时同样会反跳。不难得出结论，在长时间标尺内发生的慢流动过程中，胶泥的行为像流体——可以缓慢流成水平。当它被缓慢拉伸时，同样表现出延性破坏——这是流体的特性。但是，当胶泥快速拉伸时，即按较短的时间标尺，它表现出脆性破坏——这是固体的特性。在胶泥掷地那样经历的剧烈且突然的形变下，它会反跳——这是固体的另一个特性。同是“反跳胶泥”当它的形变过程的时间标尺较长时，其行为像流体。当它的形变过程的时间标尺较短时，其行为像固体。

5 流变学和神学

个人计算机的键盘是按照打字机键盘设计的，字母 R 和 T 彼此相邻。这件事的一种后果是，几乎每一本英文流变学 rheology 的书至少有一处不正确地去参考 theology (神学)。笔者曾去中国国家图书馆赠送一本英文的《中日国际流变学学术会议论文集》，接受赠书的女馆员拿出一张空白的赠书纪念卡，并打上英文书名。她英文打字很熟练，给人一种打字不会出错的信任感。幸好我看了一下书名，结果她把书名打成了《中日国际神学学术会议论文集》。我很喜欢用 Word 97 的软件在微机打字，它会在不正确的英文词汇下面打上红色的波纹，在不正确的英文语法下面打上绿色波纹，以提醒打字者。但是它总在 rheology 下面打上红色波纹。因为它不认识流变学，只认识神学。

以上的故事并不说明流变学和神学这两者之间没有关系。在圣经旧约第五章中，报告 Deborah 声称：“山在神的面前流动……”。基于这种考证，现代流变学的奠基人之一的 Reiner 教授把他定义的无量纲数

组称为 Deborah 数 De 这里的观念是, 假若你等待的时间足够长, 则一切都在流动, 甚至山也在流动! 中国有个民间故事. 有一天樵夫去深山砍柴, 在林中看见二位老者在下象棋, 于是止步看了一眼, 不看则已, 一看却被双方激烈的攻杀, 妙手迭出, 跌宕起伏, 高超的棋艺所吸引, 直看到棋局的终结. 待二位老者离席而去, 樵夫也感觉到肚子饿了, 急忙回家. 刚进村所见街景与出门时已有很大的不同; 全村都是些陌生人, 到家门也不见儿子, 于是问了一个老者, 是否知道樵夫儿子的名字. 老者说: 听父亲说他是父亲的爷爷. 原来樵夫遇见的是二位神仙在下棋. 在仙界一天, 人间已过几百年. 好像中国和外国的仙界是相通的. 如果用地质年代为时间标尺, 则高山是由海底形变而成的, 考古学者从山上发现海洋生物的化石而证实了这一点.

6 Deborah 数

几乎所有无量纲数组组成的重要力学参数都是以科学家的名字命名的, 如 Reynolds 数, Prandtl 数, Froude 数, Mach 数等等. 但在流变学中有一个例外, 这就是上面提到的 Reiner 定义的 Deborah 数. Deborah 数 De 的定义为

$$De = \tau/T$$

式中, T 是所观察形变过程的特征时间; τ 是材料的特征时间. 对于胡克弹性固体时间 τ 为无穷大, 而对于牛顿黏性液体则为零. 事实上, 对于液态水典型的 τ 值为 10^{-12} s; 对于润滑油, 当在一对咬合齿轮形成

的高压下通过时, τ 可能有 10^{-6} s 数量级; 对于塑料加工中使用温度下的高分子熔体, τ 可能高达数秒. 所以, 有一些情况, 其中这些通常情况下的液体偏离纯黏性行为, 同样也表现出弹性.

7 世纪寄语

值此世纪之交, 回顾流变学的发展, 20 世纪头几十年仅偶然见到有流变学意义的研究. 一方面, 自那时起出现合成纤维和塑料加工工业的紧急需要. 另一方面, 自 Oldroyd 等提出描写本构方程的原理. 即: 坐标不变性, 决定性, 物质无关性三原理. 到 Truesdell 在第四届国际流变学会议上介绍了流动和变形的理性力学. 奠定了流变学更严密的理论基础. 流变学得到了很大的发展, 并应用到洗涤剂、稠化润滑油、不喷溅油漆和压敏粘合剂等工业领域. 随后诞生了药品和食品工业流变学. 现代医学研究也包括生物流变学作为重要组成部分. 采用生物技术生产线制造材料, 需要对涉及的流变学有很好的理解. 随着英国北海油田的开发, 加拿大极地胶凝原油的输运, 澳大利亚含蜡原油采用加剂常温输送的新工艺, 在本世纪末出现了石油流变学. 对电流变学的深入研究有可能对 21 世纪的汽车工业起到革命性的影响作用. 可以预计在 21 世纪流变学将在中国的现代化建设中发挥更大的作用. 笔者以下面的新世纪寄语作为本文的结束语:

“流变学已经、正在和即将在合成纤维、塑料加工、药品和食品、石油、汽车和生物技术等重要工业中起到革命性的影响作用, 是第一生产力.”

追击问题中关于临界范围是椭圆的证明

毛澄映

(长沙铁道学院数理力学系, 长沙 410075)

摘要 通过求解微分方程组导出了追线函数和追击曲线上两个特殊点横坐标的关联方程, 依此证明了猎狗能追上兔子的区域是椭圆这一结论, 并给出了椭圆方程.

关键词 追线函数, 降阶法, 椭圆

文 [1] 讨论了追击这一有趣的问题, 并通过模拟猜想猎狗能追到兔子的临界范围是椭圆, 为此, 作者

想从理论上给予证明.

1 追线函数及一个关联方程的导出

设兔洞位于 $(0, b)$, 兔子速度为 a , 狗的速度 $v > a$. t 时刻兔的位置为 $(0, y_0 + at)$, 狗的位置为 (x, y) .

$$\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 = v^2 \quad (1)$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y - y_0 - at}{x} \quad (2)$$

本文于 1999-06-04 收到.