

## 第四届全国生物力学学术会议纪要

第四届全国生物力学学术会议于1993年9月16日至20日在乌鲁木齐市举行。会议由中国力学学会和中国生物医学工程学会主办。

出席会议的代表共70人，他们来自全国各地的高等学校，医院及科研部门。美国加州大学宋国立教授和台湾大学医学院江清泉教授也出席了会议，并应邀分别以“细胞力学进展”和“关节振动讯号量测研究”为题作了专题学术报告。

本次大会上的专题学术报告还有吴望一教授的“恒磁场对豚鼠血栓等血液流变性质影响的实验研究”、岑人经教授的“血管入口流动问题分析”、严宗毅教授的“红细胞分布不均匀性对于微循环T型分岔处血浆撇取的影响”、刘泽扬副研究员的“兔肾多孔介质系统物理特性的测定与研究”和王前讲师的“成骨细胞在均匀电场作用下的特性实验研究”，代表们对他们的工作给予了很高的评价。

与前几届全国生物力学学会相比，本届会议有如下的明显特点：

1. 我国生物力学研究及应用的水平有新的提高，在力学和医学相结合方面有了较大进展，很多工作是力学工作者和医学工作者共同完成的，如王辉明、严宗毅、文宗曜等做的“红细胞入孔的力学分析”在考虑流体-固体的耦合作用方面作了好的分析；胡青华、庄逢源等合作用接近微循环生理条件下的负压吸引，观察分析了“多形核粒细胞于毛细血管入口变形运动”，这些工作对推动我国细胞力学的发展有积极作用；在生物流体力学方面，李平、吴望一提出了一个“小肠绒毛吸收机制的数学模型”，李惜惜等“用颈动脉脉搏波检测脑血管动力学参数”，

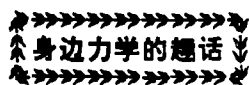
提出了反映脑血管硬化和阻力大小的新指标；席葆树等在“人工心脏瓣膜体外加速疲劳试验方面做了很好的工作，余斌、陈君楷、康振黄对他们研制的“双叶翼型机械心瓣的定常湍流场”作了实验和计算分析。陈槐卿、王茂德等合作将“等容血液稀释法用于治疗脑损伤”等等；在生物固体力学和运动生物力学方面也取得了明显的进步，基础理论研究方面有杨桂通、吴文周、张瑞萍的“密质骨的损伤本构模型”，张金芝、朱东明、黄执中的“多刚体系统动力学及人体头颈部模型”等，在应用研究方面有赵立明、赵忠兵的“拇外翻的生物力学”，于振武、华筑信等的“牵拉骨后分离组织学观察及力学特性”，朱希涛、周书敏等成功地将光弹性力学和有限元法用于牙的临床问题，黄民等的“狗主动脉中的残余应变”，钱民全等的“生物管道——鸡肠在僵硬过程中的蠕变、松弛和振荡特性”等等，都是一些较以前更深入的工作。

2. 在重视科技开发方面迈出了新步子，更多的科技成果已经和正在转变为临床医学服务的高科技产品。

3. 一批年轻的生物力学工作者正在迅速成长。本次会议代表中有近30位是青年人，年龄最小的只有23岁。他们朝气蓬勃，工作也做的很出色，如王前、陈琛、张金芝、李晓阳、尹亚梅、李宗明、韩海潮等都作了很好的报告。

会议期间召开了生物力学专业委员会工作会议。

(吴文周 供稿)



### 春蚕到死丝方尽 ——谈液体的拉丝现象

王振东

(天津大学力学系，天津 300072)

相见时难别亦难，东风无力百花残。  
春蚕到死丝方尽，蜡炬成灰泪始干。  
晓镜但愁云鬓改，夜吟应觉月光寒。

蓬山此去无多路，青鸟殷勤为探看。

这首篇名“无题”的著名七言律诗<sup>[1]</sup>，是唐代诗人李商隐(约公元813-858年)所作。因早已脍炙

人口, 所以被选在包括《唐诗三百首》在内的各种唐诗选本之中。

“春蚕到死丝方尽, 蜡炬成灰泪始干”是这首无题中最有名的两句。后人常用来歌颂心目中的英雄人物和人类灵魂工程师那种“鞠躬尽瘁, 死而后已”的高尚精神。当您使用“春蚕到死丝方尽, 蜡炬成灰泪始干”时, 可曾想到, 蕴含在这名联之中, 也有十分有趣的力学现象。

我国著名文学家周汝昌先生对此名联曾作过精彩的注释<sup>[2]</sup>: “春蚕自缚, 满腹情丝, 生为尽吐; 吐之既尽, 命亦随亡。绛蜡自煎, 一腔热泪, 蒸而长流; 流之既干, 身亦成烬。有此痴情苦意, 几于九死未悔, 方能出此惊人奇语”。并称此联有“惊风雨的境界、泣鬼神的力量”。对于如此精美的解释, 笔者不敢妄加评论, 但从力学的观点可以提出这样的问题: 蚕丝究竟是怎样形成的, 是“吐”出来吗? 蜡烛在燃烧的时候为什么总要“流泪”?

我们先来讨论蚕丝是怎样形成的。蚕卵孵化成幼蚕后, 在 25-30 天内经 5 个龄期, 脱 4 次皮, 发育成 5 龄蚕。5 龄蚕食桑 6-8 天后停止食桑, 皮肤透明, 成为熟蚕<sup>[3]</sup>。这时蚕腹的丝腺内充满了由于化学反应形成的粘液体——蚕丝的原料, 亦称为丝液。可以仔细观察一下蚕的动作。蚕把嘴里的丝液粘到某物体上(丝液中的丝胶起着“粘”的作用), 然后蚕的头按照 8 字形左右摇摆, 摇晃着把丝液拉成丝线, 靠丝线表面上残留的丝胶将丝线粘到茧的内侧, 这样慢慢地作成了茧。有人做了这样的试验, 让一个粘着丝液的物体也随着蚕的脑袋一起摆动, 那么从它嘴里就拉不出丝线来了。也就是说, 如果蚕的脑袋不摆动, 丝线就不会“吐出来”。而如果拿住线头抽拉, 就可以连续不断地拉出丝线来。如果你用剪刀将丝剪断, 蚕就难于再继续拉丝了, 于是它的头就在空中摇晃着, 想再找一个拴线的地方拉丝。这个试验说明, 蚕丝不是“吐”出来的, 而是“拉”出来的。

养蚕的农家儿童常捉蚕来玩。捉一条又肥又大的即将作茧的蚕, 捏住它的头尾, 猛地一下左右拉开, 这时头尾分离了, 而从蚕腹中却拉出一条直径约 1mm, 长约 30cm 的透明结实的丝线。如果慢慢地拉就不行了, 蚕体被拉断后, 体液滴滴嗒嗒地流出来, 什么也得不到。为什么快拉就能成丝, 慢拉就是液体流出来呢? 现代科学的研究表明, 蚕丝是通过力的作用由丝液拉成的。这个现象叫作“牵引凝固”。丝液的主要成份是丝蛋白, 丝蛋白的链状分

子是线团状态。丝液是黏性液体, 它的线团状分子呈圆球状, 当你慢慢拉伸时, 圆球分子之间只有滑动, 没有其它变化, 所以整个液体只是流动。当你快速拉伸时, 各个分子还来不及流动就被伸开了。被拉开的丝蛋白链状分子有了新的排列, 产生了变异, 相互靠近的分子之间产生了很强的结合力。这种丝蛋白分子之间的“结合力”虽然比原子之间的作用力弱, 但是长链的各链节之间却有很强的结合, 所以形成了整体上很结实的蚕丝。

蚕腹的丝液直接用手去拉, 只能拉成象钓鱼线那样粗的丝线, 但如果借助于蚕的嘴就能拉成纤细而漂亮的丝线, 直径可以细到 0.002mm, 长度可达 1200m 左右。蚕的嘴是由“角质蛋白”形成的, 嘴巴上有一个“调节口”, 当丝液经过它时, 可对流量进行着适当的调节。

由上所述, 我们可以得出如下结论: 蚕腹中有胶状丝液, 而形成结实而又漂亮的蚕丝的主要条件是拉力。蚕丝不是从蚕嘴里吐出来的, 而是通过嘴巴的流量调节用力拉出来的。这就纠正了根据头脑中的“常识”而提出的、没有可靠的实验依据的桑蚕吐丝的传统看法。

在现代化学纤维工业中, 人们正在模仿蚕所作的工作, 用“拉伸”的办法制造尼龙和涤纶等合成纤维。只是在开始作成丝状时, 先要对液体施加很大的压力, 使从小孔中挤压出来, 再去拉伸。如何又快又好地拉出丝来, 正是流变学中“拉丝流动”所研究的内容。实际上, 我们现在还比不上蚕, 还不能象蚕那样只靠拉牵就能制出漂亮而结实的丝线来。蚕这个小生物身上还有许多问题有待我们去研究和探索。

除了桑蚕(平常所讲的蚕就是指它)之外, 柞蚕、蓖麻蚕、木薯蚕、樟蚕、柳蚕和天蚕等也都不是吐丝, 而是拉丝的。蜘蛛结网也是这样, 它肚子里有“蛛丝液”, 从腹部末端(而不是从头部嘴里)拉出丝来。但蜘蛛拉出的丝不如蚕丝那么结实。蜘蛛网有两种丝, 一种是指向外面的, 它较结实而光滑; 另一种是一圈一圈的, 它很有弹性, 并且布满黏液珠。据说, 在一个好的蜘蛛网上有 25 万个以上的黏液珠, 以用来黏住飞虫供蜘蛛饱餐。宋代诗人范成大(1126-1193)在四时田园杂兴诗中所写<sup>[6]</sup>: “静看檐蛛结网低, 无端妨碍小虫飞”。正是这一情况的生动描述。还有一种结草虫, 也可以拉出几乎与蚕丝结实程度不相上下的丝。它的“巢壳”外表有树叶

和小枝缠挂着。“巢壳”的内侧象蚕茧一样结实，用手指都不易戳破它。

只要稍加注意就可以看到，日常生活中有不少液体也是能拉丝的，比如敲开鸡蛋后将蛋黄取走留下的蛋清。蛋清是搅动一下后能弹缩回来的液体，也是一种向上挑能拉丝的液体。可以用筷子插入向上挑一下试试看。当向上挑的速度很慢时，蛋清象液体一样流了下来，不拉丝。当向上挑的动作很快，蛋清不粘筷子，也不拉丝。可是当向上挑的速度适当时，蛋清就拉丝了。当蛋清拉的丝断了的时候，还可看到在断开的一瞬间，会象橡皮条那样稍有收缩。用筷子挑山药汁，以及婴儿流的口水情况也都相似。这种液体能拉丝，也跟蚕的丝液能拉出丝一样，是因为它们有黏性和弹性的双重性质。

动物和植物的“黏液”大多具有黏性与弹性的双重性质。比如蜗牛和蛞蝓的黏液，人的唾液、痰、鼻涕，鳝鱼的黏液，海藻表面的黏液，芋头的黏液等。这些液体用力搅动后都能表现回缩的弹性，向上挑的速度合适也能拉出丝来。研究表明，在拉丝现象中，黏滞性起主要作用，弹性起辅助作用。也就是说，可流动性是拉丝的基本条件，再加上可伸缩的弹性，才能出现拉成长丝的现象。

有些食品以能拉出丝来而著名。如主产于河北沧县，山东乐陵的金丝小枣，以核小、肉厚、色鲜、味浓、糖多、质细著称，而购买时鉴别质量是否上乘的标准，主要就是用手抓住小枣两头，猛一撕开后能否拉出很多金丝来判别。成语“藕断丝连”也正描述了鲜藕切断后，藕中所含黏液被拉出丝的情况。菜肴中有一道拔丝菠萝（或苹果、山药等），就是用炒糖稀作成黏液裹在上面，以能拉出许多糖丝来

著称。当然也有的食品在新鲜的时候不会有拉丝，腐败了才容易拉丝，人们也常以此来判断这些食品是否腐坏变质了。比如农历八月十五中秋节时的月饼。

接着我们还要再讨论一下“蜡炬成灰泪始干”是怎样的力学现象。如果仔细观察一支燃烧时的普通蜡烛，就会发现，靠近火焰的油脂比靠近外边的热，因此它有较弱的表皮，从而形成了一种持续的环流；油脂在面上向外跑，然后又从下面流回来，形成一组涡旋。油脂运动时因携带着细小的灰尘颗粒，就容易使这种运动看清楚。因为油脂在做涡旋运动，热油脂极易从面上流到蜡烛边上，再在重力作用下沿蜡烛的圆柱表面由上流淌而下，这就是“泪”。而“泪”流不远即因温度降低，而凝固在蜡烛的圆柱表面上，又形成了“泪痕”。这种“泪”当然只有等油脂全部烧尽成气跑掉后才会“干涸”。

### 参 考 文 献

- [1] 蘅塘退士编，梦花馆主注释。唐诗三百首。上海广益书局，1941: 186
- [2] 周汝昌。李商隐“无题”注释。唐诗鉴赏辞典。上海辞书出版社，1985: 1172-1174, 1408
- [3] 中国大百科全书，纺织卷。中国大百科全书出版社，1984: 15-16
- [4] 中川鹤太郎著，宋玉升译。流动的固体。科学出版社，1983
- [5] 许渊冲。中诗英韵探胜。北京大学出版社，1992
- [6] 周汝昌选注。范成大诗选。人民文学出版社，1984: 245

(本文于1993年6月4日收到)



《小问题》栏欢迎来稿出题(请自拟题目或注明题目来源)，题目及解答请寄北京大学力学系《小问题》组，采用后将致薄酬。

245. 如图1所示，两个完全相同的均质圆轮搁置于水平倾角为  $\alpha (< 45^\circ)$  的斜面上，各接触处摩擦系数均为  $\mu$ ，平行于斜面的力  $P$  作用于轮 C 的中心。试求推动圆轮的最小力  $P$  以及轮 C 纯滚动的条件。(刘又文，中南工业大学数力系)

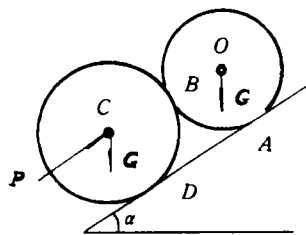


图 1