

为什么我厨房里的意大利面这么容易断成两半

林诗宁 叶津铭 王若茜

摘要

Richard Feynman 曾发现,将意大利面由两端弯曲而导致断裂时,似乎总是 会断成至少三段。这一现象的物理原因最终在 2005 年被解释:法国一个团队在 Physical Review Letters 上发表了一项研究,该研究表明,最初的断面会产生一种 振动波;而振动波在面条上传播和反射,会带来干涉效应形成驻波,这使得部分 位置振幅较大,从而引发级联断裂。而最近,麻省理工学院的科学家们在 2018 年重新设计了该实验,他们在实验中通过增加一种扭曲效应,终于打破了这一现 象,"很不容易"地将意大利面条一分为二。 Stofe

当在新闻中听到这样的研究故事时,我们感到非常有趣。然而,**当我们试图** 在自己的厨房里用面条重复这个实验时,却发现大多数面条很容易被分成两段, 这与文献报道完全不同。为了避免随机噪声的影响,我们引入统计分析(共 30 次) 验证了实验结果的有效性。为了找出这种差异的原因,我们搭建了一个由 3D 打 印支架和步进电机组成的定量实验平台,并对面条类型、弯曲速度等相关参数进 行了研究。最后,我们发现,意大利面的湿度才是造成这种差异的真正原因。

随后,基于干燥器和加湿器,我们使用自制的设备来定量控制面条的湿度。 湿度计测量结果表明,通过控制加湿或干燥时间,可使面条的湿度从 8.5% 增至 20%。而随着湿度的增加,断裂段数的统计平均值从 3.13 迅速下降到 2.16。这 一结果有力地证明了意大利面的湿度是影响其断裂段数的主要原因。

为了进一步说明湿度的影响,我们采用步进电机来控制弯曲速度。**以湿度为** x 轴,弯曲速度为y 轴,我们得到了断裂段数的相图。结果表明,较高的湿度和 较慢的弯曲速度会导致较低的断裂节数,其统计平均值约为 2.10,十分接近于 2 段。同时,文献中提到,在高速弯曲下,意大利面条的断裂段数会显著增加,如 断成四段甚至更多(烘干情况下的实验结果,统计平均值为 4.00)。而我们发现, 湿度较大时,面条在高速弯折下依旧大部分只会断成两段(加湿情况下的实验结 果,统计平均值为 2.43)。我们发现湿度的增加会很好地抑制 quenching 效应, 这是一个从未在文献中报道过的新现象。

为了理论解释湿度对实验的影响,我们进行了一系列的实验探索。首先,我 们测量了不同湿度下意大利面的杨氏模量。结果表明:湿度越高,杨氏模量越低。 这意味着对于潮湿的面条,弯曲过程中储存的弹性势能大大降低,这使得首次断 裂时激发的振动波的强度也大大降低。我们采用手机 APP: *Phyphox* 测定了不同 湿度条件下面条断裂时的声音强度。结果表明,干面条的声音比湿面条大 10 分 贝以上,这与我们的理论预测是吻合的。其次,我们利用振动时间实验测量了面 条的固有能量耗散。结果表明,干面条的振动时间比湿面条长大约 100%,这说 明在湿面上传播的振动波有较大的能量损失,因此很难形成振幅较大的驻波。第 三,实验还表明,随着湿度的增加,意大利面条的屈服形变量也会显著增加。在 上述三个因素的影响下,湿意大利面断裂所产生的振动波初始能量较弱,传播中 又会有较大的能量损耗,因此形成的驻波振幅很难超过增加之后的屈服变形量, 结果导致自家厨房里的意大利面很容易断成两半,尤其在广东这种湿度较大的地 区。

最后,我们比较了不同横截面的意大利面条对断裂情况的影响。结果表明, 当面条的截面形状由椭圆变为圆形时,这一现象的结果基本保持不变。然而,当 面条是空心的时候(例如实验中使用的通心粉),我们发现它比湿面条更容易断裂 成两段,这表明这种空心结构具有更好的机械抗振性,关于这一点的研究还在持 续进行中。

本论文的创新点主要分为以下四个部分:

- 在已有研究的基础上,我们发现了完全相反的实验现象。我们利用统计分析和定量对照的实验方法验证了:造成这种差异的原因是面条含有一定的湿度。这是已有文献没有讨论过的因素。
- 通过自制的实验平台和定量实验,我们首次获得了断裂段数在湿度和 quenching 效应下的相图(图 1)。结果表明:较高的湿度和较慢的弯曲速度 会带来较低的断裂节数;同时湿度的增加还会很好地抑制 quenching 效应, 这是一个从未在文献中报道过的新现象,
- 3. 我们的研究为湿度对实验结果的影响提供了一个全面的理论解释。它不仅 能兼容之前的文献中的理论,还能解释我们的实验现象与文献不同的原因。
- 4. **基于这一现象,我们进行了有趣的推广,进一步发现空心结构比实心结构 具有更好的抗振性能**。我们相信本论文将为以后的研究提供更多的启示。

速度/加湿 时间	-10	-5	0	2.5	5
慢速	2.8	2.43	2.37	2.13	2.10
中速	3.13	2.93	2.77	2.20	2.17
快速	• 4.00	3.30	3.33	2.57	2.43

图1 断裂段数在不同湿度和弯曲速度下的相图。

关键词:断裂的意大利面条,振动波,湿度,统计分析。

诚信声明

丘成桐中学科学奖-学术诚信声明

本参赛团队郑重声明:

- 参赛团队提交的参赛队员、指导老师及研究报告相关信息完 整且属实无误。
- 所提交的研究报告是在指导老师指导下进行的研究工作和取 得的研究成果。
- 尽本团队所知,除文中加以标注和致谢中所罗列的内容外,研究中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果,不存在代写、抄袭或其他违规行为。

以上,若有不实之处,本人愿意承担一切相关责任,并服从丘

桐中学科学奖组织委员会的裁决

参赛学生(签字): 林诗了叶津铭 王 学校名称(加盖学校或教务处公章):

指导老师(签字): 3 单位名称(加盖单位)

2022年9月7日

- Ko Awards

(团队的每位学生和指导老师都需要在诚信声明上签字、盖章,以团队为单位提交

份PDF 扫描件)



<u>摘要</u>

观信产明	4
引言与背景	6 -
预实验	- 6 -
2.1 实验方法	- 6 -
2.2 <i>实验结果</i>	-70
完量实验平台的搭建	8
21 步进中机实现定量位移台	- 8 -
3.2 3D 打印底座完善位移台	8 -
3.3 手机拍摄实验过程	
3.4 实验流程	10 -
谷计测量	- 11 -
	- ++ -
	11 -
5.1 回求作天	11 - 12
5.2 写叫还反	- 12 -
	10 -
控制参数进行定量化头验	14 -
0.1 有准控制滥度的头缆设计	14 -
0.2 个问业及下的剧教 6.3 改变速度以验证普遍性	- 18 -
6.4 理论解释	- <i>21</i> -
6.4.1 剪切应力测量的实验验证	23 -
6.4.2 屈服形变量的实验验证	26 -
6.4.3 能量损失的实验验证	26 -
扩展实验	- 27 -
7.1 墨鱼面的实验	
7.2 空心粉实验	30 -
7.3 控制断裂位置	31 -
结论与亮点总结	- 33 -
8.1. 统计分布的使用	33 -
8.2 控制变量的精确方法	33 -
8.3 提出一个新的理论和实验来证明	33 -
8.4. 额外的想法和实验	34 -
▶考文献	35 -
友谢	36 -
∮录	38 -
- 武垌山受利受农_指导教师事	- 41 -

1 引言与背景

意大利面条作为一种典型的刚性连杆,其断裂问题一直是科学家和社会各界研究和讨论的热点。多年前,理查德·费曼(Richard Feynman)就发现,当他弯曲一根意大利面条并让其断裂时,它的断裂根数都为三根或以上,却不能将其掰成两段。这一独特的现象引起了公众的注意,2005年,两位学者 Basile Audoly 和 Sebastien Neukirch 在《物理评论快报》上发表了一项研究,解释了这一现象[3]。他们解释说,断裂时的突然弛豫产生了振动波。这种振动波会在剩余的面条上传播并反射,从而由于相干叠加效应产生驻波。这种驻波会局部地增加了意大利面条的曲率,当曲率超过临界值时,就会引发断裂级联。最近,麻省理工学院的科学家在 2018 年重新设计了该实验,并发表了一篇名为《Controlling fracture cascades through twisting and quenching》的论文[4]。他们发现,当将面条进行一定程度的扭转之后,激发的振动波强度会大幅降低,从而"艰难"地将面条折成只有两段。

看了新闻之后,我们对这个现象产生了浓厚的兴趣,并且在家里尝试复现了这个实验, 却发现实验结果和文献的完全相反。针对这一差异,我们进行了系统地研究。



图 1.1 意大利面条的弯曲过程(左)和相应的断裂过程(右)[4]。

2 预实验

为了观察意大利面条在现实生活中的断裂情况,我们首先在家里尝试进行了初步的预试 验。详细的过程和对应的实验现象将在下面描述。

2.1 实验方法

我们用两个手指轻轻捏住意大利面的末端。然后,两只手逐渐合拢,直到面条破裂。在这个过程中,视频是用手机录制的。值得一提的是,在实验过程中,我们使用了OUSA 品牌的意大利面条(图 2.1.1 左)。面条的横截面为椭圆形,短直径为 1.0 毫米,长直径为 3.0 毫米,长度为 26.0 厘米(图 2.1.1 右)。尺寸数据使用游标卡尺测量得出。



图 2.1.1 意大利面的品牌(左)和意大利面的尺寸(右)

2.2 实验结果

令我们惊讶的是,在第一次实验中,我们记录到了意大利面条断成两段的的结果(图 2.2.1)。 这与以前的研究大不相同。但是我们认为这可能是由于单根面条的独特性质而造成的一个特例,所以我们决定重复 30 次实验。这样可以利用统计分析的方法来避免随机误差。



图 2.2.1 预实验结果, 意大利面断裂成两段。

在 30 次实验中,一些面条分成 3 段(图 2.2.2 左),一些分成 4 段(图 2.2.2 右),但有很大部分面条依旧只能断成 2 段,其部分结果如图 2.2.3 所示,我们可以从这 30 个实验中取出断成分成两段、三段、四段和五段的意大利面。

通过这个实验,我们得出结论,意大利面条一分为二的情况是可重复的,而不是特殊的 情况。这一现象不同于以往的研究,我们认为它是由一些未曾被讨论的物理现象引起的。所 以,我们希望对这一物理现象进行探索和深入的研究。



图 2.2.3 预实验结果, 意大利面常见的四种断裂情况。

3 定量实验平台的搭建

3.1 步进电机实现定量位移台

如图 3.1.1 左所示,对于购买的步进电机:其输入电压为 220V,它可以在 32 厘米的距离 内移动,其最大速度为 200 转每分钟。这有助于我们灵活地改变电机运动端的速度和位移。 此外,电机底部有刻度,移动端有指向刻度值的指针。我们可以通过此读出移动端在不同时 间的位置和位移,从而测量出来电机真实的运行速度。

值得一提的是,但是由于电压很高,有触电的危险,所以我们在电源上覆盖了一层绝缘 材料并用绝缘胶带密封盒子(图 3.1.1 右),这使得我们的实验更加安全。



图 3.1.1 步进电机的主题(左)和其经过绝缘处理的电源(右)。

3.2 3D 打印底座完善位移台

步进电机运动端的上部为平直的表面,而驱动器的上部为不平的表面。因此,无论是移动端还是固定端(驱动器),意大利面条都不能直接固定在步进电机上。为了解决这个问题, 我们使用 CAD 建模软件设计了两个可以稳定放置意大利面的平台。如图 3.2.1 所示,长方体 (1)是平台的主要部分,其中包括顶部的一个孔锁定意大利面条末端。支架(4)使长方体离地面 高,便于改变长方体的角度。此外,还设计了小棒(2)和圆形构件(3),以保证长方体与支架的 连接的稳定性,并调整长方体的角度。



图 3.2.1 底座配件的 3D 模型。

我们用 3D 打印机打印出模型。然而,由于我们使用的 3D 打印机不够精确,所以我们 不得不用细金属棒代替小棒。然后,我们将底座组装好(如图 3.2.2 左)并固定在步进电机上(如 图 3.2.2 右)。在运动端,我们用夹子固定在表面上,而在固定端我们使用胶带缠绕固定(如图 3.2.2 右所示)。

有了这个底座,当意大利面条被固定在两个部分时,步进电机被打开,意大利面条就会 被等力挤压,两个平台以相同的速度接近,然后分开。



图 3.2.2 组装好的底座(左)和由步进电机和底座构成的定量位移合(右)。

Marde

3.3 手机拍摄实验过程

我们使用手机的慢动作模式(240 帧率)来拍摄面条断裂的过程。首先,如图 3.3.1 所示, 移动端的初始位置设置为左侧 -9 厘米。电机底部有刻度,移动端有指向刻度值的指针,可以 读出移动端的位置和位移。之后,如图 3.3.2 所示,当移动的一端移动到 -8 厘米时,我们拍 摄到意大利面条以更大的角度(约 40 度)弯曲。当移动端移动到 -5 厘米(图 3.3.5),意大利面 条的两段继续靠近,面条弯曲近 90 度,但意大利面并没有断裂。再之后,移动端继续以一定 的速度移动。直到移动端移动到 -3.7 厘米时(图 3.3.12),面条发生了断裂。

通过 240 帧率的录像, 我们可以清楚地记录下意大利面条弯曲和断裂的整个过程和细节。



图 3.3.1~3.3.12 意大利面不断弯曲直到断裂的过程。

3.4 实验流程

首先,当移动端停留在-8.5 厘米处,意大利面条会被固定在两个底座上(图 3.4.1)。然后, 实验者按下步进电机的启动按钮(图 3.4.1)。移动的一端开始向前移动,在某一点上,意大利 面发生了断裂(图 3.4.2)。与此同时,移动端仍在向前移动,直到达到我们设定的 11.5 厘米的 位置(图 3.4.3)。此时,步进电机开始倒转,直到回到原来的位置(图 3.4.4)。



图 3.4.1~3.4.4 定量位移台的操作过程及其折断意大利面的过程。

在这个过程中,我们的三个小组成员将在合理的分工下完成整个实验。如图 3.4.5 所示, 我们的一个团队成员将负责设置,启动和关闭步进电机。与此同时,另一名团队成员负责放 置意大利面,确保意大利面放在正确的位置,并观察意大利面断裂的次数。而小组的最后一 名成员则负责取出意大利面并记录数据。我们认为这种分工是合理和有效的,我们将在所有 随后的实验中采用这种分工。



图 3.4.5 实验操作及记录的过程。

4 统计测量

当用我们搭建的设备进行实验,我们发现尽管我们使用了同一品牌的同一意大利面,意 大利面的断裂数也由于随机误差具有一定的扰动,并不能稳定在同一数值。因此,我们认为 单一意大利面的断裂情况并不能代表其意大利面本身断裂的性质。在这种情况下,运用统计 测量将会是一个更好的方法来判断一组意大利面断裂的性质。于是,我们对 30 根面条在位移 台同一速度的挤压下的断裂情况进行了统计。

意大利面断裂数目的统计分布如图 4.1 所示,其高峰在 2 段,并随着断裂根数的增加逐 渐下降。统计呈现的分布代表了意大利面的断裂存在一定的随机误差,但是其分布的性质和 其平均数可以代表其断裂的基本属性。用统计的方法,我们得出结论:意大利面最容易断裂 成了两段。从而我们证明了我们预实验的现象是真实存在的,确实与已有的研究结果相悖。



图 4.1 实验结果, 30 根室内湿度的意大利面受到挤压的断裂根数分布。

5 寻找问题的根源

5.1 面条种类

随后,我们思考了很久造成这种差异的原因,以及可能影响意大利面断裂根数的变量。 首先,我们认为意大利面的原材料会影响我们的结果。此外,意大利面的大小和形状也可能 会影响结果。因此我们使用了一种完全不同的意大利面作为实验对象。我们以前使用的常规 意大利面的主要原材料是小麦,长 26 厘米,椭圆形横截面长径 3 毫米,短径 1 毫米。而在本 次实验中我们使用的是在主要原材料中加入了墨鱼汁的墨鱼面(图 5.1.1 左),其横截面为直径 1.5 毫米的圆形,长为 26 厘米。尺寸数据使用游标卡尺测量得出。



图 2.1.1 墨鱼意大利面的品牌(左)和墨鱼意大利面的尺寸(右)

我们同样抽取 30 根实验对象墨鱼面进行 3.4 提到的实验流程,并进行统计分析。如图 5.1.1,墨鱼面的断裂统计与常规意大利面呈现类似的分布,高峰同样在 2。因此我们认为并不 是我们选择的意大利面的种类不合适,才导致实验测量断裂数和文献报道结果不一致。



图 5.1.1 实验结果, 30 根室内湿度的墨鱼意大利面受到中速挤压的断裂分布。

5.2 弯曲速度

接下来,我们开始考虑弯折意大利面的速度,是否会影响意大利面的断裂数。我们的猜想是来自预实验时,我们发现当我们用更大的力挤压面条,也就是让两段更快速的靠近时,意大利面更容易断裂成3段或4段。反之、意大利面则更容易断成两段。因此,我们希望通过改变步进电机的转速来验证我们的猜想。

值得一提的是,由于步进电机只能通过改变模式和转速来改变其移动的速度,因此我们 不能明确的知道其真正的移动速度。于是我们将步进电机的慢速,中速和快速移动的过程用 手机记录了下来。并记录不同模式下移动端到达下端刻度尺的 -8 cm 处和 0 cm 处的时间,从 而定量测试其真实的弯折速度。

当处在慢速模式下时,如图 5.2.1, t=2s 的时候,移动端在-8 cm 处;而在 t=3.3s 时,移动端在 0 cm 处。因此我们可以算出在慢速模式下,移动端的速度为 0.062 m/s。

当处在中速模式下时,如图 5.2.2, t=2.5s 的时候,移动端在-8 cm 处;而在 t=3.3s 时,移 动端在 0 cm 处。得出在中速模式下,移动端的速度为 0.100 m/s。

最后,当处在快速模式下时,如图 5.2.3, t=3.1s 的时候,移动端在-8 cm 处;而在 t=3.7s 时,移动端在 0 cm 处。得出在快速模式下,移动端的速度为 0.133 m/s。



图 5.2.1 慢速下步进电机的移动过程,移动端在-9cm 时(左)和在 0cm 时(右)。



图 5.2.2 中速下步进电机的移动过程,移动端在-9cm 时(左)和在 0cm 时(右)。



Narde

图 5.2.3 快速下步进电机的移动过程移动端在-9cm 时(左)和在 0cm 时(右)。

当我们明确了不同模式的具体速度,我们分别对慢速下和快速下的30根常规意大利面进 行了断裂实验。如图5.2.4左,在慢速下,意大利面的断裂统计同样呈正态分布,并且更多意 大利面断裂成了两段。而如图5.2.4右,在快速下,意大利面的断裂分布产生了一定的偏移, 高峰转移到了3。

通过以上数据,我们证实了速度对于意大利面断裂段数的分布具有一定的影响。但是这一 变量,其实正对应于已有研究提到的quenching现象[4]:**挤压的速度越大,意大利面则更有可 能断成三段以上的多断。而速度越小,则更有可能断成三段**。注意,在我们的实验中,我们 观测的结果却是,速度越大,确实更有可能断成三段以及以上,但是速度小的时候,却有很 大一部分的意大利面仅仅断裂成了两段。因此。我们还需要寻找更多的变量来解释这一差异。



图 5.2.4 实验结果, 30 根室内湿度的意大利面受到慢速 0.062m/s(左)和快速 0.133m/s(右)挤压的断裂 分布。

5.3 面条的湿度

正如我们所知,我们的所在地广东省是一个全年湿度高的地方,所以我们认为有可能是 由于湿度的差异,导致我们的断裂现象与已有研究的的差异性。在我们注意到这一点之后, 我们开始降低改变常规意大利面中的水分含量。我们使用了烘干机将面条烘干了 10 分钟以大 大降低意大利面的湿度,从而进行断裂实验。统计分布结果如图 5.3.1 左所示。我们发现由于 湿度的变化,意大利面的断裂分布的确产生了明显的偏移,断裂数目的峰值转移到了 4 段, 并且更多的意大利面断成了 5 或 6 段。同时,断裂数目只有 2 段的情况只占据不到 10%,这 足以说明在 90%的置信度情况下,意大利面条会断裂成 3 段甚至更多——这才与文献报道的 结果相吻合。除此之外,我们也尝试了将 30 根意大利面进行加湿。我们将其放置入封闭的加 湿空间 5 分钟,造成意大利面的湿度较大程度的提升,并对加湿 5 分钟的意大利面进行断裂 根数统计。如图 5.3.1 右所示,相比于室内湿度的意大利面的断裂分布,更多的意大利面断成 了两段(占据 60%)。三段和四段的数量大大减少,五段的数据不再出现。这说明了湿度的增加 才是让意大利面的断裂根数更加趋向于 2 的原因。

至此,我们终于寻找到了造成我们实验结果与文献报道不一致的真实原因:即面条在湿度较高的自然环境下,会吸收空气中的水分从而使得湿度增加,而这种湿度的变化对于意大利面断裂的性质有较大的影响。但是,已有的文献中并没有对于面条湿度这一变量的研究,我们并不知道具体湿度如何对意大利面断裂产生影响,因此,我们希望对湿度对意大利面的断裂做更深入的研究。



图5.3.1 实验结果, 30根烘干10分钟之后(左)和加湿5分钟(右)的意大利面受到快速挤压的断裂分布。

6 控制参数进行定量化实验

6.1 精准控制湿度的实验设计

为了精确控制湿度(例如要创造一个比室内湿度更湿润和更干燥的环境),我们制造了一个加湿环境和一个抽湿环境。面条将放置在两个不同的环境中两段不同的时间,以达到不同 程度的加湿和干燥。

对于加湿装置,我们使用一个封闭的纸箱(图 6.1.1 左)。其上端可以打开,以便更换设备, 但在加湿过程中将完全关闭。然而,我们在箱子一侧的左下角挖了一个小口。虽然这导致了 箱子无法完全封闭,但是这让我们更方便的抽取单根面条而不需要打开上方更大的开口,以 造成更严重的箱内空气与箱外空气的转换。因此,事实上,这个小孔可以更好地保持室内的 空气,并提高我们实验的准确性。在盒子的内部(图 6.1.1 右),我们用塑料膜包裹它的内壁, 让蒸汽浸泡盒子。在塑料包装上,我们放置了一个加湿器,加湿器上面的两个孔释放蒸汽。 在整个实验过程中,我们将控制加湿器的位置:水平放置在箱子的左侧。此外,在右边,我们 有一个放置意大利面的平台。这是为了防止意大利面条与在保鲜膜的积水的直接接触。 在这样的湿度环境下,我们通过将面条放置不同的时间(2.5分钟和5分钟)来产生不同湿度的面条。为了使每组中的每块意大利面接近理想的润湿时间,我们一次只润湿10根意大利面。重复3次来获得30组数据。



图 6.1.1 加湿环境的外部(左)和内部(右)。

对于干燥装置,我们使用家用烘干机(图 6.1.2 左)。为了使滚筒中的细长面条不会断裂, 我们将用胶带将面条固定在滚筒表面(图 6.1.2 右)。因为我们担心被胶带覆盖的部分受到的抽 湿效果不如其他的部分,所以我们尽可能地把胶带粘的部分控制得小一些,只粘住意大利面 的两端。

在这样的干燥环境中,我们通过将面条放置不同的时间(5分钟和10分钟)来创造不同湿度的面条。之所以与放置在加湿器下的时间不同,是因为干燥机的干燥效果较慢且不那么显著。此外,我们每次放30根意大利面条,一次取出,因为干燥效果可以保持很长时间。



图 6.1.2 抽湿环境的外部(左)和内部(右)。

为了验证我们的湿度控制的有效性,我们使用湿度计来测量每一组面条。首先,我们把 一把面条(大约 30-40 根)分别放入加湿和烘干的环境和时间。然后我们把意大利面拿出来。实 验者用一只手挤压意大利面条,另一只手插入湿度计(图 6.1.3)。之后,拿着意大利面的手轻 微地左右移动。在这个过程中,湿度值会有波动。为了保证数据的准确性,我们提取了湿度 的最大值和最小值,计算其平均值作为标准值。我们用五组面条重复了这个过程:加湿 5 分 钟,加湿 2.5 分钟,室内湿度,烘干 5 分钟,烘干 10 分钟。



图 6.1.3 测量面条湿度的过程。

然后,我们就得到了每组意大利面的湿度值(图6.1.4),并验证了我们已经成功地控制了这些方法的湿度。





6.2 不同湿度下的断裂

利用上述控制湿度的方法,和 3.4 中提到的意大利面条断裂方法,我们可以对 30 条意大利面条在不同湿度下的断裂情况进行统计分析。如图(6.2.1-6.2.5)所示,统计了 5 分钟的加湿时间、2.5 分钟的加湿时间、室内湿度、5 分钟的烘干时间和 10 分钟的烘干时间下常规意大利面的断裂情况。我们可以清楚地看到由于湿度的下降,统计分布图的峰值由 2 段转移到了 3 段,各组的平均数也从 2.17 增加到 3.13。通过这些图表,我们可以初步得出结论:**湿度的** 差异确实对意大利面的断裂数量产生了影响,湿度越大。断裂的段数就会越少。



图 6.2.1~6.2.5 实验结果, 30 根不同湿度的意大利面受到中速挤压的断裂分布。

为了更清楚地显示湿度与裂缝数量之间的关系,我们绘制了裂缝数量与加湿/烘干时间之间 的散点图。我们把干燥时间分布在图表的负半轴上,因为它们对于湿度的增加有负面影响。 如图 6.2.6 所示,随着润湿时间的增加,断根数量显著减少。而当时间大于或等于-5 分钟

如图 6.2.6 所示,随着闲虚时间的增加,面很数量显者减少。而当时间入于或等于-5 分钟时,断裂根数大部分都小于 3 段。换句话说,烘干后的意大利面条基本上都会断裂成 3 段(烘干 5 分钟的统计均值为 2.93,烘干 10 分钟的统计均值为 3.13),而随着湿度的增加,则很容易可以被掰断成两段(加湿 2.5 分钟的统计均值为 2.20,加湿 5 分钟的统计均值为 2.17)。



图 6.2.6 实验结果中速弯折下,断裂根数和加湿时间的关系

6.3 改变速度以验证普遍性

在已有的研究中,研究者提出了 quenching 效应的概念[4]。这表明,随着挤压意大利面 条末端的速度增加,意大利面条更有可能分成更大的片段。因此,为了验证湿度对意大利面 条影响的普遍性,我们引入了速度变量。我们把 6.2 实验中使用的速度称为中速(0.100 m/s), 并通过调节步进电机的转速来获得低速(0.062m/s)和高速(0.133m/s)。我们用低速和快速重复 了 6.2 中的实验,并得到了两组不同速度的数据,每组数据包含 5 个不同湿度下的统计分布 图。如图 6.3.1~6.3.5 所示,在低速下,意大利面条的断裂分布随湿度的变化而发生变化,并 且正态分布产生了偏移。而如图 6.3.7~6.3.11 所示,在高速下,意大利面条的断裂分布也同 样随着湿度的变化而发生变化,并且正态分布也产生了偏移。

此外,为了更清楚地表达湿度与裂缝数量之间的关系,我们制作了两个散点图来表达它 们之间的关系。如图 6.3.6 所示,在低速时,加湿时间也与断裂数量呈负相关。在图 6.3.12 中, 显示了在高速下,加湿时间和裂缝数量之间的关系也大致为负相关,尽管在 0 分钟时有一个 异常值。这是因为我们认为异常值是由于一些随机错误所导致,并不会影响大致图像的趋势。





图 6.3.12 实验结果, 快速下断裂根数和加湿时间的关系。

最后来做个总结,现在我们有了三种不同速度下五种不同湿度的断裂根数数据。因此, 为了显示湿度与速度共同影响下的裂缝数量,我们将三个实验的数据排列在同一个图表上(图 6.3.13)。从这张图中我们可以看到,在所有速度下,湿度与裂缝的数量呈负相关,而速度为加 湿时间和断裂根数的函数影响整体高度的变量。



图 6.3.13 实验结果, 快速, 中速和慢速下断裂根数和加湿时间的关系。

随后,我们以加湿时间(湿度)为 x 轴,以弯曲速度为 y 轴画出如图 6.3.14 所示的相图。 此处,我们以断裂数目的统计平均值为 2.5 作为判据。高于 2.5 时,我们认为大部分断裂数目 都是 3 甚至更多,而低于 2.5 则认为大部分断裂数目都只有 2。

此时,可以看到红色虚线可以将参数空间分成两个相:其中蓝色的相即对应于现有文献 中报道的现象,而绿色的相即代表我们新发现的相。此外,从这个相图我们可以很清楚的看 到:1. 增加湿度和降低弯曲速度会导致较低的断裂节数,使实验结果从蓝色相向绿色相转变; 2. 湿度的增加可以很好的抑制 quenching 效应,同样使实验结果从蓝色相向绿色相转变。

	速度/加湿 时间	-10	-5	0	2.5	5
	慢速	2.8	2.43	2.37	2.13	2.10
	中速	* 3.13	2.93	2.77	2.20	2.17
0	快速	4.00	3.30	3.33	2.57	2.43
\cap	逐	16.3.14 断裂	段数在不同	显度和弯曲读	度下的相图。	

6.4 理论解释

在已有的研究中[3],研究人员描述了意大利面条断成多个碎片的过程。第一个断裂发生 在意大利面条的两个固定端受到恒定的力,导致曲率增加到面条的最大屈服形变量。当面条 的中心部分突然断裂并释放时,它们的曲率会在短时间内回到零,并激发振动波。振动波会 在面条上传播并来回反射,通过干涉叠加的原理形成驻波;这样一种驻波会增加意大利面的 局部曲率(形变量)。当它达到一定的曲率时,超过意大利面条的屈服形变量,就会再次发生 断裂。这一级联断裂的过程类似于雪崩的过程。

理论上,我们将意大利面两端受力并相互靠近的过程视为固定一端并给另一端一个力矩 *M*₀的过程。我们将t=0s的时刻定义为意大利面发生第一次断裂的时刻。而在t=0s的时候,力矩 *M*₀瞬间消失,此时意大利面开始处在了不平衡态,其动力学过程可以用著名的基尔霍夫方程 [5]进行描述:

$$L^{4}\kappa_{, s^{4}}(s, t) + T^{2}\kappa_{, t^{2}}(s, t) = 0$$

其中*s*是坐标, κ 代表局域的曲率, 逗号代表偏导数。 $T = L^2/\gamma$, 其中, *L*代表面条的长度, $\gamma = \sqrt{EI/\rho A}$, *E*为杨氏模量, β 为质量密度, *A*为横截面面积, *I*为转动惯量。 在我们的实验条件中, 我们可以设置如下的初始条件和边界条件:

在
$$s = L$$
: κ , $_{s^2}(L, t) = 0$, κ , $_{s^3}(L, t) = 0$
在 $s = 0$: $\kappa(0, t) = 0$, $\kappa_s(s, 0) = 0$

则我们能够求解出曲率在不同坐标和时间下的波函数如下所示

$$4u'''(\xi) + \xi^2 u''(\xi) + 3\xi u'(\xi) = 0$$

$$\kappa(s,t) = 2\kappa_0 F(\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{s}{\sqrt{\gamma t}})$$
(3)

(1)

其中*F*是菲涅耳正弦积分,这个方程的解是自相似解。图 6.4.1 画出了面条曲率随参数 $\xi = \frac{\frac{\delta}{L}}{\sqrt{r}} = s/\sqrt{\gamma t}$ 的变化(这个参数本质上可以理解成面条上的不同位置)。值得注意的是,这个图

任何位置的曲率大于 κ_0 ($\kappa/\kappa_0 > 1$),则意味着此处将会发生二次级联断裂。从图 6.4.1 的结果我们可以看到,在一次断裂发生之后,由于干涉效应,面条上出现了多个驻波的波峰,且 其幅值都超过了临界阈值,这从理论上解释了普通的意大利面会发生级联断裂的现象。



然而,当面条含有一定湿度的情况下,我们做出如下假设:1.意大利面条的杨氏模量会 大大降低,这导致弯曲过程中储存的弹性势能显著降低。2.振动波在意大利面条上传播的时 候,会带有较大的损耗(之前的方程是没有损耗项的)。3.湿度的增加会带来屈服形变量临界 阈值的增加。

基于这些假设,我们对理论方程进行了如下的小量近似修正:

$$\kappa(s,t) = A \times \exp\left(-\beta t\right) \times 2\kappa_1 F\left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{s}{\sqrt{\gamma t}}\right) \tag{4}$$

其中, *A*是一个[0,1]之间的实数, 代表了杨氏模量下降带来的振动波幅度下降; β代表由 湿度带来的额外能量损耗; 而κ₁代表新的屈服极限。这样的情况下, 我们可以定性地画出如 图6.4.2所示的图像。从中可以看到, 随着湿度的增加, 冲击波的强度显著降低, 加上能量损 耗, 使得意大利面条的曲率整体下降; 同时湿度得增加也会带来屈服形变量临界阈值的增加 (黑色虚线)。因此, 虽然第一次断裂产生了振动波, 但振动波产生的驻波曲率不能达到阈值, 因此, 不会发生后续得级联断裂, 从而使得面条只会断裂成2段(我们实验中所观测结果)。



图6.4.2 在考虑湿度的情况下, 解随自相似参数 的变化图像

我们知道,在现实生活中,湿度的存在是不可避免的,尤其是在广东这个靠海高湿度的 省份。因为,我们的结果其实相较于理想的意大利面,具有更强的普适性。我们预判,其实 大部分人厨房中的面条,如果不经过特殊的烘干处理,应该都会出现和我们相似的结果,而 不是文献中报道的结果。

接下来,我们用三组定量的实验来进一步验证我们在理论中所做的三个猜想。

6.4.1 剪切应力测量的实验验证

我们设计的实验如图 6.4.1.1 左所示:我们将两个面条的末端放置在比桌面高的两个平面 上(我们将通过在平面上做一个标记来控制每次实验中面条都在相同位置)。一个面条作为实 验组,另一个面条作为参照组。之后,我们在实验组的面条中间悬挂一个重物(图 6.4.1.1 中)。 我们认为,施加在面条上的重量与步进电机施加在面条上的力矩具有相同的效果。然后,我 们用尺子测量实验组和对照组的最低点之间的差异(图 6.4.1.1 右)。通过这种方法,我们可以 有效地测量由剪切应力引起的意大利面条的变形。



图 6.4.1 剪切应力测量实验装置的俯视图(左), 侧视图(中)和近景图(右)

通过使用上述方法并改变砝码的重量,我们测量了多组室内湿度的意大利面的形变量的 数据,包括:10克挂在一根面条和两根面条上,20克挂在一根面条上,两根面条和三根面条。 分别对应受到0.049 N、0.098 N、0.0653 N 和0.196 N 的应力的条件下,意大利面条的形变量。 我们可以成功地绘制出室内湿度的意大利面条的应变-应力关系图(图6.4.1.2)。



图6.4.1.2 实验结果, 室内湿度的面条应变与应力的关系图

用同样的方法,重复同样的五组不同的应力条件,也可以测定加湿意大利面条的杨氏模量。在此基础上,绘制了加湿意大利面条的应力-应变关系图(6.4.1.5)。

通过室内湿化意大利面与加湿后的意大利面的应变和应力图比较,发现在相同的应力下,湿化意大利面的变形更大。而应力越大,两种意大利面的形变差值越大。这意味着湿度越高,面条的杨氏模量越小。此外,加湿后的意大利面的图像的非线性特征表明,变形倾向于塑性变形,而不是弹性变形。

根据弹性杆形变所存储的弹性势能公式

$$V_c = \int \frac{1}{2} \sigma \epsilon dV$$

(5)

其中σ是应力, *ε*是对应的应变。这意味着在变形过程中,相同应变长度的湿面条能够储存的能量比在干面条中储存的能量要少。因此我们推断,湿面条在第一次断裂后能够激发的振动波的强度也比干面条的要小,所以断裂超过2次的可能性较小。



图6.4.1.3 实验结果, 室内湿度的面条和加湿后的应变与应力的关系图

为了验证这一猜想,我们还利用声音强度的实验来证明高湿度的面条中储存的能量较少。 在实验过程中,我们使用手机上的软件 Phyphox 来测量声音的强度,并尽量不发出任何额外 的声音。首先,我们把手机放在桌面上,开始测量背景声音的强度。然后我们校准这个背景 声音。在那之后,我们在离电话一定距离的地方折断了室内湿度和加湿后的意大利面。该方 法通过对声强的记录,提取出声强的峰值。同时在相同距离下断裂加湿面条,提取峰值声强 (如图 6.4.1.4)。此实验将重复三次,以减少实验的随机误差。



图6.4.1.4 室内湿度(左)和加湿后(右)的意大利面断裂的声强对比。图中包含信号声音的强度和环境 背影声音的强度,可以看到,两种情况下背景声音基本上相同,但是信号声音强度具有较大区别。

如图 6.4.1.5 所示,我们可以看到室内湿度的意大利面所产生的声音强度要比加湿后的意 大利面大得多。在第一组实验中,意大利面条的室内湿度比湿度产生的声音大约多 20 分贝。 在第二组实验中,意大利面条的室内湿度比湿度产生的声音大约多 10 分贝。在第三组实验中, 意大利面条的室内湿度比湿度大约多产生 20 分贝的声音。面条破裂时两种湿度的声强差异证 明了其储存的能量的差异性,证明了湿度高的面条储存的能量更小。



6.4.2 屈服形变量的实验验证

在本章中,我们将通过实验验证,湿度的增加会带来屈服形变量的增加。我们将面条直 接浸泡在盆里,以迅速增加面条的湿度。1.5 分钟,3 分钟,10 分钟,15 分钟,20 分钟,25 分钟后,我们拿出一个面条。面条将被双手握住,并通过增加弯曲的角度来使其断裂。在这 个过程中,我们用我们的手机记录了整个过程,并把面条断裂前的瞬间作为面条最大的变形。 如 6.4.2.1 所示,浸泡 1.5 分钟的面条可弯曲约 170 度,浸泡 3 分钟的面条可弯曲约 180 度, 浸泡 10 分钟的面条可弯曲约 230 度,浸泡 15 分钟的面条可弯曲 270 度,浸泡 20 分钟的面条 可弯曲 300 度,浸泡 25 分钟的面条可弯曲 345 度。

显然, 意大利面浸泡的时间越长, 也就是湿度越大, 弯曲的最大角度也就越大。这表示 意大利面条的屈服形变量增加了。因此, 这会导致较高湿度的意大利面更难断裂。



图6.4.2.1~6.4.6.6 实验结果,不同湿度的意大利面的最大弯曲角度。

6.4.3 能量损失的实验验证

在本章中,我们将通过实验验证:振动波在面条上传播过程中,由于湿度的增加,振动波 将会有更大的能量损耗。首先,我们使用 6.1 中提到的方法湿润一部分面条。如图 6.4.3.1 左 所示,我们取一个加湿的意大利面条和一个室内加湿的意大利面条,把它们的一端固定在桌 面上方的平面上(将重物放在两个面条上以固定它们)。然后,实验者用一根手指把两片意大利 面的另一端按在桌子上(图 6.4.3.1 右)。当这样做的时候,实验者同时释放两种面条。此时, 两个意大利面条会出现简谐震荡,其振动过程可由如下波函数方程描述:

$$U = A \times exp \ (iwt - \gamma t)$$

(6)

其中, *A*代表振幅, *w*代表振动频率, *γ*代表振动的能量损耗。这个方程表明, 经过一段时间后, 面条的振动会由于能量损失而恢复静态。我们将用手机摄像机记录整个实验, 并计算加湿面条和室内湿面条之间的振动持续时间。实验将重复三次, 以减少实验的随机误差。



6.4.3.1 能量损失的实验,实验设备(左)和用手按压意大利面准备释放过程(右)

如图 6.4.3.2 所示,在第一组实验中,室内湿度的面条比加湿面条的震荡持续时间多约 80%。在第二组实验中,两种面条的震荡时间相差约 150%。在第三组实验中,两种面条的震荡时间相差约 100%。总而言之,振动波在湿面条上的传播过程中其能量损失较大。因此,我们证实了,湿度越高,能量损失越大,所以会抑制振动波的传播和随后的干涉叠加过程。



图 6.4.3.2 实验结果,加湿后的意大利面和室内湿度的意大利面的震荡时间。

7 扩展实验

7.1 墨鱼面的实验

为了探讨不同原料意大利面断裂条件的异同,扩展我们理论的一般性,我们尝试将实验 对象改为不同的意大利面(7.1.1 左)。它由不同的原材料制成,且有不同的横截面(7.1.1 右,由 原先的椭圆变为圆形)。我们用同样的方法改变它的湿度,并观察到断裂次数的统计差异。



图 7.1.1 墨鱼意大利面的品牌(左)和意大利面的尺寸(右)

首先,在低速下,我们测量了五组不同湿度的意大利面条(加湿 2.5 分钟和 5 分钟,室内 湿度,干燥 5 分钟和干燥 10 分钟)的断裂次数(图 7.1.3 ~ 7.1.7)。从统计分布可以看出,随着 湿度的增加,正态分布向右移动。这说明湿度同样对墨鱼意大利面的断裂有重要影响,其变 化的基本规律和常规的意大利面保持一致。



图 7.1.3~7.1.7 实验结果, 30 根不同湿度的墨鱼意大利面受到慢速挤压的断裂分布。



wards

随后,在高速下,我们也测量了五组不同湿度的意大利面条的断裂次数(图 7.1.9-7.1.13)。 从统计分布上还可以看出,随着湿度的增加,正态分布同样向右移动。这些实验结果证明了: 当面条的截面形状由椭圆变为圆形时,这一断裂现象的结果基本保持不变。。



图 7.1.8 实验结果, 慢速下墨鱼意大利面的断裂根数和加湿时间的关系

图 7.1.9~7.1.13 实验结果, 30 根不同湿度的墨鱼意大利面受到快速挤压的断裂分布。



图 7.1.14 实验结果,快速下墨鱼意大利面的断裂根数和加湿时间的关系。

AWSIG:

7.2 空心粉实验

随后,我们继续尝试空心粉型的意大利面(图 7.2.1 左)。作为一种具有非常独特结构的意 大利面(图 7.2.1 右),我们发现它具有非常独特的断裂结果。



图 7.2.1 空心粉的品牌(左)和意大利面的尺寸(右)

实验测量结果如图 7.2.2 所示,我们发现即使在高的弯折速度下,大部分通心粉在的室内 湿度的环境中只能断成两半,其统计平均值为 2.11;而同样条件下,普通意大利面的统计平 均值为 3.33。

为了进一步验证空心结构的结构稳定性,我们又将其烘干 10 分钟,期望它能改变其分布。 但是,这样的情况下,断裂的分布也只是略有增加,其统计平均值变为 2.25。而同样条件下, 普通意大利面的统计平均值为 4.00。

以上结果表明,通心粉的孔隙结构具有更好的机械抗振性能,可以很好的抑制级联断裂的发生。这告诉我们:除了引入扭转效应(文献中报导的方法)和增加湿度(我们探索发现的新方法)外,在面条的中心引入孔隙结构也能很好地控制断裂数目趋向于两段。关于这一现象的理论解释我们还在进一步探索,同时我们相信关于这个课题还有大量值得研究的内容。





7.3 控制断裂位置

从上面的研究过程中,我们发现湿度和意大利面条的断裂数量之间有很强的相关性,而 我们还想知道湿度和意大利面条上断裂的位置之间是否有相关性。因此,我们改变了意大利 面的局部湿度,观察它在哪里破裂。首先,我们把一半的意大利面浸在水里,另一半不接触 水(图7.3.1)。



图7.3.1 控制断裂位置的实验装置

这样一来,一半的意大利面含有更多的水分,而另一半含有更少的水分。然后我们把意 大利面放在步进电机上,让它以中速断开。我们按顺序把所有的碎意大利面条缝到原来的长 度上(图7.3.2)。湿的在上面,干的在下面。我们观察到意大利面大约都在二分之一处断裂。



图7.3.2 侵泡二分之一的意大利面的断裂位置分布。

varde

当我们把大约三分之一的意大利面浸泡在水中,只使大约三分之一的意大利面更加湿润。 意大利面同样在湿润和干燥部分的交界处断裂 (图7.3.3)。



图7.3.3 侵泡三分之一的意大利面的断裂位置分布。

我们继续验证湿意大利面条比率和断裂位置之间的关系。我们把四分之一的意大利面弄湿,发现随着干部的增加,意大利面更容易分成多半(图7.3.4)。但更重要的是,这部分意大利面通常比以前更接近顶部(湿部),这意味着它也更接近四分之一的部分。



8 结论与亮点总结

我们的课题从现有的研究基础出发,却在实验中发现了完全相反的实验现象——我们厨 房里的意大利面其实很容易就折断成两段。我们利用统计分析和定量对照的实验方法验证了: 造成这种差异的原因是面条含有一定的湿度,这是已有文献没有讨论过的因素。同时,通过 自制的实验平台和定量实验,我们首次获得了断裂段数在湿度和quenching效应下的相图。结 果表明:较高的湿度和较慢的弯曲速度会带来较低的断裂节数;同时湿度的增加还会很好地 抑制quenching效应,这是一个从未在文献中报道过的新现象。为了解释这种相图产生的原因, 我们为湿度对实验结果的影响提供了一个新的、全面的理论解释,且其能很好地兼容之前的 文献中的理论。最后,我们针对这一现象进行了有趣的推广,进一步发现空心结构比实心结 构具有更好的抗振性能。我们相信本论文将为以后的研究提供更多的启示。

在此次研究过程中,我们获得了许多宝贵的经验和启发,总结如下。

8.1. 统计分布的使用

我们没有使用单一的意大利面来做实验,而是使用了30根意大利面来做统计分布。当我 们把所有的数据放在一起进行统计分布时,我们更清楚地发现了问题,并确定自己的实验数 据是真实可信的。为了更好地观察我们的数据,我们学习了很多方法来处理我们的数据。

(1)利用 Excel 绘制直方图表示数据分布。

(2).然后我们将绘制一个带有误差条的点图。我们取平均值并计算误差,在点图上画出不同湿度但相同速度和相同种类的面条的碎片的平均值,然后添加误差条。

(3)我们还使用了相图来观察数据的整体趋势。这样,我们就可以清楚地看到湿度引起的 变化和变化模式。

8.2 控制变量的精确方法

我们使用精确的方法来控制我们的变量,并将尽可能少的误差来影响最终的结果。我们 选择的最终方法是从我们尝试过的许多方法中选择出来的,因此这种方法将比我们可行的大 多数方法更好、更精确。例如,有一次我们用一个封闭的盒子里装水的杯子的数量来控制湿 度。但是水太难控制了,因为温度的变化会对蒸发速度产生巨大的影响,冷水甚至在20分钟 后对意大利面没有什么影响,而开水可以在2分钟内把意大利面完全弄湿。当箱子里的水蒸气 达到一定量时,蒸发过程就会减慢,从而导致结果错误。因此,我们开始尝试加湿器代替。 经过多次尝试和改进,最终的方法可以避免大多数问题,并提供最佳和最准确的结果。

8.3 提出一个新的理论和实验来证明

当我们做前期实验时,我们发现了大多数人都知道的理论中的一些问题。在发现这些问题之后,我们认为我们可以提出一个新的理论来补充被广泛接受的形式理论。我们增加了一个条件的理论,正常的意大利面不能分成2个部分,这是湿度需要控制在一个低水平。我们发现意大利面中的水分含量对意大利面碎片的影响,并通过解释意大利面水分变化然后弯曲成部分的过程来证明这一点。然后,当我们形成了这个过程的基本逻辑链时,我们设计并使用了一些实验来证明理论中的每一点是正确的。

8.4. 额外的想法和实验

当我们在做实验的时候,突然对这个理论有了一些顿悟,我们会把它们写下来,设计一 个实验来评估我们的假设,或者直接看到结果,如果这个实验是可行的话。例如,当我们不 小心在厨房里得到一袋通心粉时,我们开始思考空心化是否会对碎片产生影响。我们猜测空 心化会减少波的传播,导致3个以上碎片的可能性非常小。最后得到了预测结果。同时,当我 们考虑到我们只能让一份意大利面的一部分被加湿的想法时。我们很好奇,我们也许能够预 测断点的位置。结果表明,断点与面条干湿分界线有关。这些额外的实验不仅使我们的实验 更加有趣,而且使我们的理论更加完整,包含了比以前更多的内容。这也给我们和那些想要 在未来研究这个话题的人们一个机会,去找出实验过程中确切而精确的原因。

JLL HION SCHOOL

70.6.

参考文献

[1] C. Sykes, No Ordinary Genius (W.W. Norton & Company Ltd., New York, 1996), pp. 180–181.
[2] Gladden J R, Handzy N Z, Belmonte A, et al. Dynamic buckling and fragmentation in brittle rods[J]. Physical review letters, 2005, 94(3): 035503.

[3] Audoly, B., & Neukirch, S. (2005). Fragmentation of Rods by Cascading Cracks: Why Spaghetti Does Not Break in Half. Physical Review Letters, 95(9). doi: 10.1103/physrevlett.95.095505

[4] Heisser R H, Patil V P, Stoop N, et al. Controlling fracture cascades through twisting and quenching[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2018, 115(35): 8665-8670.

[5] Coleman, B., Dill, E., Lembo, M., Lu, Z., & Tobias, I. (1993). On the dynamics of rods in the theory of Kirchhoff and Clebsch. Archive for Rational Mechanics And Analysis, 121(4), 339-359. doi: 10.1007/bf00375625

致谢

本论文是在导师万水英老师的悉心指导下完成的。导师渊博的专业知识和严谨的研究态 度为我们的研究提供了帮助;而其诲人不倦和平易近人的人格魅力则带给了我们深远的影响。 我们衷心地感谢万水英老师对我们本次研究的帮助,也同时感谢她让我们在物理专业上树立 更远大的学术目标。从选题到实验设计,再到理论的研究,每一步都在导师的指导下完成, 倾注了导师十分多的心血。我们也从导师的指导中得到了许多帮助和有用的见解,再次对导 师表示崇高的敬意和衷心的感谢。

除此之外,论文的完成也离不开每位学生的努力。感谢王若茜同学认真研究地操作实验, 感谢叶津铭同学对理论部分做出重要贡献,感谢林诗宁完成了对数据的采集和分析。同时, 在研究的各个部分以及论文的书写都是我们团结协作和合理分工的结果。我们每个人都在研 究的过程中学习和收获了很多,共同进行了一次物理世界的探索。

最后, 真诚的感谢我们的家长为我们提供了很好的后勤保障。

参赛队员信息

姓名:王若茜 性别:女 学校:广东碧桂园学校 年级:10 简介:全科成绩优异,热爱物理。自学能力强,有很强的求知欲。逻辑思维能力较强,对规 P. AWarde 律十分敏感。 2022 AP physics1&C Mechanics : 5

2022 BPHO intermediate : silver

姓名:林诗宁 性别:女 学校:广东碧桂园学校 年级:11 简介:全科成绩优秀,热爱物理领域的探索,喜爱从物理现象中引发思 2022 美国物理碗银奖 2022 未来太空城市设计大会初赛一等奖 2022 BPhO 高级挑战赛金奖 2022 滑铁卢数学竞赛 top 3%

姓名:叶津铭 性别:男

学校:广东碧桂园学校 年级:10

简介:理科成绩优秀,对物理有极大的热情,动手能力强,喜欢通过做实验来验证物理原理, 是班级物理课代表。

2022 BPHO 高级挑战赛银奖

2022 加拿大滑铁卢牛顿物理竞赛全球 top150, 全国银奖

2022 美国物理碗 PhysicsBowl 铜奖

2022 BPHO 中级挑战赛金奖

附录

```
时间: 2022年6月5日下午14:00-16:30+
参加者:指导老师、林诗宁、王若茜、叶津铭。
本次研讨内容:讨论+确定备选课题。
1. 水果起皱图案的预测:理论方面需要列出张力与形变的关系式;实验方面需要创造真空
                                         re Awards
环境让不同水果快速脱水,以观测水果形成的皱纹;对皱纹样式进行归纳;。
问题:因变量不明确,不同的皱纹样式与什么有关。
2. 对意大利面不能被分成两半实验的质疑: 理论方面通过考虑意大利面的弹性势能, 能量
损耗等因素建立一个可以被分成两半的数学模型;通过改变湿度、意大利面种类和断裂方
式来观测意大利面是否可以被分成两半: 。
a.
投票: ↓
水果起皱图案的预测:对意大利面不能被分成两半实验的质疑=1:24
确认题目为对意大利面不能被分成两半实验的质疑。
下一步安排: 🖉
1) 下次会议的时间: 2022 年 12 月号下午 14:00, 地点: 腾讯会议线上
2) 下次会议前需要完成的内容: -
  叶津铭需要制作关于对意大利面不能被分成两半实验的质疑的 PPT
 时间: 2022年6月12日下午14:00-15:30+
 参加者:指导老师、林诗宁、王若茜、叶津铭。
 本次研讨内容: 定题后第一次会议, 就两篇论文和可行的后续研究方向进行讨论。
 论文获取:于消息记录中搜索 audoly, pnas-
 David 的 PPT 对于两篇论文中的重点公式和图片、以及对后续研究的展望做了阐述 ↩
 老师在此基础上更加细致地讲解了两篇论文中较难理解的地方,比如公式中字母所代表的含
 义,图标各个坐标所表示的物理量↔
  以后可以做的研究→
 1: 湿度对意大利面的影响。
  由于湿度导致硬度和粘性变化,能量得以消耗,可能出现不同结果。
  可以通过湿度计测量湿度,控制湿度则用喷水和吹干进行↔
 2.速度影响~
 论文中也有提及↩
 3.长度和半径的比值。
  <u>将掰断</u>了的意大利面再掰断结果不一样, 越短的意大利面越难掰断, 从中得出长度和半径比
  值可能对结果有所影响↔
 4.意大利面的形状↩
  意大利面拥有不同的形状,探索不同的形状可能带来的影响↔
  下一步安排: ↩
  <u>下周做预实验</u>,试图组装一个类似的<u>掰意</u>面装置,挑选几个变量尝试。
  多读文章, 学习必要知识↔
 实验必需品: ↩
  由于需要 0.05ms 一拍的相机拍摄意大利面折断过程, 需要一架高速摄像机↔
```

```
时间: 2022 年 6 月 19 日下午 8:30+
 参加者:指导老师、林诗宁、王若茜、叶津铭。
 本次研讨内容: 讨论第一次预实验出现的问题。
 1.240 帧数的摄像机捕捉不到不同部分分别在不同时间断裂的瞬间。解决方法:用几千帧的
 高速摄像机替代。。
 2.实验数据表征不出湿度与断裂数的关系,且湿度变化太快。解决方法:改变实验方法,
 在盒子中放置不同量的水来创造不同湿度环境,将一簇意大利面放置其中一段时间,让湿
                                               Awards
 度稳定后,多次测量湿度。。
 3. 速度不能定量表征,解决方法:叶津铭同学用 3D 打印方法制作滑轨小车。
 4. 墨鱼面不容易断成三段的主导原因是横截面几何形状还是它的刚性系数, 解决方法: 用
 游标卡尺测量不同面的直径和几何形状,并搜寻不同面的刚性系数或杨氏模量的差异
 下一步安排: ↓
                                         , c.P.
 1) 下次会议的时间: 2022 年 6 月 26 号下午 14:00 。
 2) 下次实验的实验: 2022 年 6 月 22 号下午 19:00, 地点: 学校实验室
 3)下次会议前需要完成的内容: 。
 ··· 叶津铭: 搭建改变速度的滑轨小车。
 ···林诗宁和王若茜:做改变湿度和不同意大利面的实验
时间: 2022年6月26日下午。
参加者:指导老师、林诗宁、王若茜、叶津铭。
本次研讨内容: 。
1. 探究湿度与意大利面断层数量的关系并制作图表。
2. 在盒子中放置不同量的水来创造不同湿度环境,将一簇意大利面放置其中一段时间,让
湿度稳定后,多次测量湿度。问题:在放置了48个小时之后,面条过软,体现不出变量。。
解决方法:下次尝试放置 24 小时。
3. 速度不能定量,解决方法:王若茜购买电机来实现速度的可控性。。
下一步安排: 。
1) 下次会议的时间: 2022 年 7 月 10 号 。
2) 下次实验的实验:待定:地点:学校实验室。
3) 下次会议前需要完成的内容:。
… 叶津铭: 优化改变速度的滑轨小车: 尝试将电机和装置组装到一起。
···林诗宁和王若茜:研究改变湿度和不同意大利面的实验并制作曲线图。。
时间: 2022 年7月 10 日下午。
参加者:指导老师、林诗宁、王若茜、叶津铭。
本次研讨内容:
分享了这几天的实验过程和结果,讨论方法和结论的成功和不足。
实验:湿度和速度对意大利面会断成几节的影响。
实验结论:
通过湿度和节数的图标,一部分数据分布显示湿度越高节数越少。
速度和节数:大部分数据显示速度越快节数越多。
实验需要改进: 🧃
由于湿度和时间有时会发生一些反常、控制湿度的方式需要改进。
录像时需要拿一个背板保证更好的拍摄效果。
下一步工作: 🗸
1.→测量步进电机速度的具体值和转数的关系。
2.→湿度方式改进: -
  用不同的箱子装意面(解决打开箱子湿度散入周围环境的问题)。
  意面需要平铺,减少位置不同带来的湿度区别。
3.→两边 3d 打印的底座角度需要一致。
4.→研究意面断裂的位置,排除一些影响意面断裂的因素,绘制 error bar 以更好找到规律。
```

时间: 2022 年 7 月 16 日下午。 参加者:指导老师、林诗宁、王若茜、叶津铭。 本次研讨内容: 🗸 1. 数据处理:对已有的图像进行优化和处理,并制作湿度和速度的象图。 2. 论文的 3 个 highlight: 论文以已有论文的缺陷为基点,表明了意大利面在更加现实的环 境下的情况。 -17 AWards 3. 实验: 讨论了已经做的实验遇到的一些问题。例如, 水可能在意大利面中没有均匀分布, 因此意大利面可以被视为有两层不同湿度的体。。 4. 仿真: 仿真部分要提前学习软件的应用。 下一步工作: -

1.本周昨晚墨鱼面的10组实验。

2. 开始书写论文--

7-20 号实验总结: 🚽

湿度实验:↩

a)

- 1.→测完了宽面条1的3x5组数据(可见明显的相变过程)。
- 2.→测完了墨鱼面 2 的 2 x 5 组数据(也可见明显的相变过程)
- 3.→测空心粉 3 的 1 x 5 组数据【待测】 →
- 4.→不同条件下的湿度数据(可见明显的趋势)

【7-21 待测数据】 🖉

- 1.→每一种面条的几何参数——长度、截面形状;
- 2.→面条的剪切应力测量——用砝码测出形变和应力的关系,然后测出屈服强度【不同的湿 度下屈服强度是不太一样的:证明其湿度影响了剪切应力——剪切应力的减小,使得激 波的激发强度有一定的降低——利用声音传感器验证这一结论——用条形图对比】。
- 3.→同时,由弹性向塑性转变,使得激波的传递有很强的损耗——可以固定一端,然后对比 两根面条,看哪一根震动的时间更久——用条形图对比;【这两个实验有力的证明了为
- 4.→实验拓展 1: 直接扔水里, 泡多久才会折断而不是完全无用? ——实验测试, 教育我们 煮面条的时候放多久,才开始搅和——否则吃到的面条可能就断得七零八碎; 🚽
- 5.→ 实验拓展 2: 一半加湿 5 min, 一半常温, 测 30 组, 看其断裂段数, 和相对位置的正态 分布。

实验拍摄照片

实验装置图【3D 打印基座,步进电机(+控制台),烘干机+湿度箱,三种意面的照片, 30 根意面并排的照片,湿度计测数据,砝码测剪切应力,震动时间测量实验,】。 .→ 抽摄完整的实验过程【1.·意面的照片;2,意面上台子;3,意面逐渐弯折(2张,带底 部坐标); 4、弯折断裂的一瞬间; 5、弯折之后的样品】↔

丘成桐中学科学**奖**-指导教师表

报名学科	物理	参赛学生姓名	叶津铭 王若茜		
论文题目	为什么我厨房里的意大利面这么容易断成两半				
	指导教师信息				
姓名	万水英	性别	女		
单位	广东碧桂园学校	职称	中午		
学历	硕士	专业	物理教育与教 育管理		
邮箱	wanshuiying@brights cholar.com	手机	13425730720		
身份类别	 √□本校教师 □公益性校外教 □其他(补充说) 提示:须充分、 	 □本校教师 □科研机构专家 □公益性校外教育机构老师 □辅导机构老师 □其他(补充说明:) ↓ 			
是否收费	√□无偿 □ 有	産の			
情况说明	您在研究报告的指导中具体参与哪些工作? √□选题指导√□理论指导√□实验指导 √□论文写作指导 □其他(补充说 明:) (须充分、据实填写,多选)				
信息确认	指导教师签字:万水英(加盖单位公章)				

C