

揭示气球爆裂的两种模式

(北京大学 王树峰 编译自 Philip Ball. *Physics*, October 30, 2015)

当气球爆裂时，它会裂成多少碎片呢？研究人员利用高速摄像机来研究这一现象，观察到两种不同的爆裂模式，即单片撕裂模式和多片撕裂模式，并对它们产生的原因进行了解释。研究人员将扁平的橡胶气球充气，随后让它们炸裂，通过充气量的控制，使实验得以准确重复。经过分析视频数据，他们发现爆裂方式依赖于橡胶壁承受的张力，该张力由充入气球气体的压力决定。在低压下，单一的裂缝就可以释放压力，在一定压力阈值之上时，多裂缝就不可避免了。

在好奇心的驱动下，巴黎高等师范学校(ENS)的Sébastien Moulinet开始思索这一问题。他说：“当我看到一幅描绘气球爆裂的艺术照片时，我开始对这个问题感兴趣。我注意到这些裂痕似乎具有相同的间距”，而且呈现平行排列。这种特性让碎片产生了一种“肋笼”式的结构。

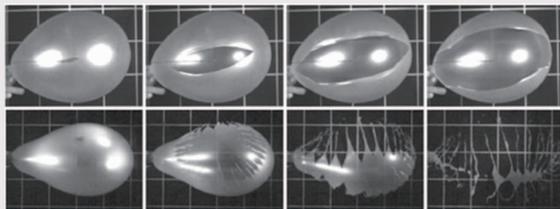
Moulinet想了解是什么导致了这种结构的产生，以及为什么爆裂有时候只是呈现出简单的模式。为了解答这个问题，他和ENS的同事Mokhtar Adda-Bedia利用一个比玩具气球更可控的系统来开展研究。他们使用了一片均匀平整的乳胶薄片，将它用夹子固定在一个可充气的5 cm直径圆孔上，就像肥皂液覆盖在孩子们的吹泡泡棒上。在孔的前端一个固定距离上，他们安装了一把可以刺穿气泡的尖利的刀片，当气泡在内部压力的作用下增长到

一定尺寸时就会被刀片刺穿。他们可以通过简单地改变刀片与圆孔间的距离来调整气球爆裂时的压力。

他们发现，在较低的压力下，气球会在单一的裂缝作用下爆裂。像大嘴张开一样从刺穿点开始逐渐展开。但是在临界压力之上，爆裂模式变成几个裂缝从刺穿点开始放射状展开。通过检视爆裂后的残片，Moulinet和Adda-Bedia发现了像树一样的枝状图样，这一点在视频中不易看到。初始的压力越高，分枝就越多，于是会产生更多的“手指”。

Moulinet和Adda-Bedia发现控制爆裂的关键参数不是内部压强，而是橡胶膜的张力。它不仅依赖于气压，还与厚度和曲率因素有关。这种张力越大，产生裂缝释放张力的速度就越快。但是视频显示的裂缝沿着橡胶扩张的速度有一定限度。他们发现当张力超过阈值时，裂缝能够更快地释放张力的方式就是分裂成多个裂缝。

Moulinet说：“张力越大，气球中存储的弹性势能就越大，于是就需要更多的裂缝来释放储存的能量。”他们研究的对象是平面橡胶薄膜产生的宽颈气球，气球在顶部刺破。由此而产生的裂缝像章鱼手臂



气球爆裂方式：在一定内部气压值之下，气球通过产生单一的裂缝发生爆裂(上排图)；但当压力增加时，则会产生放射状的裂痕，从刺穿点开始产生一系列裂缝，形成平行的肋式图样，并使气球的表皮爆裂成几块碎片(下排图)。研究人员利用更加可控的系统(将平面橡胶膜充气)来研究这一现象中丰富的细节

一样展开，而不是典型的球状气球产生的“肋笼”形状。

耶路撒冷希伯来大学的Jay Fineberg是断裂动力学方面的专家，他评论这个发现“为我们已知的断裂过程增加了相当多的知识。”他说之前的关于断裂系统的大多数研究观察到分立裂缝的延伸、交叉和融合。在这个例子中，分枝的样式显示出裂缝在传播中是不稳定的，会导致它们分裂成多个裂缝。他认为这表现了一种新型的破碎模式。

德克萨斯大学奥斯汀分校的Michael Marder告诉我们，在他几年前发表了关于橡胶碎片的研究论文之后，他收到许多公园守护人员寄来的“橡胶章鱼”，那是一些在树上发现的气球残片。他感到这些形状很令人困惑，但这些新的实验结果似乎可以解释这些现象。

更多内容详见：Sébastien Moulinet, Mokhtar Adda-Bedia. *Phys. Rev. Lett.*, 2015, 115: 184301.