
猫是液体吗？

方俊清、郑好、张奕瑶

目录

1.....	概述
2.....	液体、固体
2.1.....	液体概念及特点
2.2.....	固体概念及特点
3.....	猫
3.1.....	猫的特点
3.2.....	为什么猫是液体
3.2.1.....	摩擦学
3.2.2.....	“荷叶效应”
3.2.3.....	流体力学
4.....	小小结
5.....	研究
6.....	结论
7.....	参考文献
8.....	注释

1. 概述

相信大家在日常生活中都与猫有所接触，猫是一种很神奇的动物，它们拥有液体一般的身子，可以自由的改变形态。那么，猫究竟是液体还是固体呢？对于这个问题，我们进行了一下论证，并得出猫是具有液体的性质的结论。

2. 定义

文章对于以下几个关键词进行了定义：

1. 液体：没有确定的形状、往往受容器的影响
2. 固体：有着基本固定不变的形状、体积

3. 液体、固体

液体气体固体是物质的三大形态。接下来我们会先从液体固体的概念来论述此问题。

3.1 液体概念及特点

液体，没有确定的形状、往往受容器的影响。在初中的物理课中，我们在就了解到

了液体的几大特点——1、液体具有流动性 2、液体压力是四面八方都有的 3、液体体积在压力和温度不变的环境下是固定不变的 4、液体分子间距离较远
所以，液体是一种可以压缩、变形、流动的物体的形态 。



（猫咖的一碗猫）

3.2 固体概念及特点

固体，物质的一种聚集状态，有着基本固定不变的形状、体积。固体中的分子紧密排序，在有外力施加的情况下会产生形变，且会有热胀冷缩的现象，但分子不会剧烈运动。所以固体一般是不会被破坏的。

4. 猫

4.1 猫的特点

首先，猫有着惊人的柔韧性。猫的全身一共有 230 块骨骼（而一个成年人一米多高，一百多斤重的身体里，却只有 206 块骨头。），其中脊柱骨间都穿插着厚而软、具弹性的纤维软骨，能让身体灵活运动。即便从高处跌落，仍可以很快调整翻转到正常位置；再加上肉垫的缓冲，造就了猫很少受伤的生理特点。



（我家能屈能伸的蓝莓。）

其次，猫喜欢蜷缩。蜷缩成团睡觉并不只是因为怕冷，它们缩成团其实也有隐蔽自己的意思，尤其是在隐蔽的容器内睡觉时（特指纸箱）。此外，猫的汗腺位于脚掌。冬天时，他们就会收起自己的脚掌；相反，如果是夏天它们就会趴在地上，让脚掌贴在地上来散热。此外，猫非常讨厌水，也就是对水的亲和力极差。猫粗糙的皮毛排斥光滑的表面，它们似乎更喜欢躺在粗糙的表面上，比如地毯、枕头和键盘。另一方面，猫很难与非常光滑的表面保持接触，比如瓷砖地板，以及水。

4.2 猫为什么是液体？

4.2.1 摩擦学

摩擦学是研究接触和相对运动的表面的学科。当一个表面是固体，一个表面是液体时，我们可能感兴趣的是液体是否“润湿”固体表面。当液滴在某一特定的表面上自由地扩散时，液体被称为湿润。这是因为固体表面和液体之间的分子间的力足以压倒表面张力。另一方面，当表面张力大于分子间的力时，液体保持液滴的形状，我们说液体没有湿润表面。对于水，我们说水润湿亲水表面，而不润湿疏水表面。一个极其难以润湿的表面，如液滴保持接近球形的形状，被称为超疏水表面。如果猫在一个表面上自由地伸展，很容易保持接触，那么这个表面就是“爱猫的”，否则就是“厌猫的”。

4.2.2 “荷叶效应”^[1]

池塘常见的荷花进化出了超疏水的叶子，这样水滴就可以清洁叶子。然而，这种“荷叶效应”在猫身上将是相反的。如上一节所说的，粗糙表面将会是“爱猫的”。

（比如粗糙的纸箱表面，我们家的猫对这类栖息地特别敏感）



4.2.3 流体力学

由于流动运动是由无穷小的变形建立起来的,所以我们也可以说,牛顿流体是一种只能流动而无法被推动的物质。刚性固体则是另外一种物质,它只能被推动而不能流动。流变学研究的是在这两种极端属性之间的物质的运动,根据环境的不同,物质可以同时具有固体和液体的特性。例如,冰川是由固体冰构成的,当在短时间内观察它们时,它们看起来是固体的,但如果时间足够长,冰川也会像液态水一样流动。普通的液态水也表现出类似的行为。当一个装满水的气球被刺破时,水不会马上溅出来。在极短的时间内,水还能保持着气球的形状。

同样的事情也可以发生在猫身上,在极短的时间内观察,猫的形态更加倾向于液体,而非固体。在这极短的时间以后再次观察,猫咪们又一次具有了固体的性质。

.3 小小结

从不同的时间角度来观察,猫具有的性质不同。也就是说,在短时间内,猫是液体;而在相对长的时间内,猫则是固体。

5. 研究

除了上述我们自己所查阅的资料,我们还查阅了相关论文,以下是部分截取的研究。

法丁进行了研究,他对液体进行了更严格的定义,并在题为“猫的流变性”的论文中讨论了这个问题。法丁发现,与最初的研究相比,猫表现出更丰富、更复杂的流变行为,因此严格地说猫是液体并不恰当。

法丁使用现代流变学^[2]的语言来讨论这个问题. 连续介质力学^[3]中所研究的材料类型可以根据其形状改变的难易程度来衡量。一端是理想牛顿流体^[4]，它对施加的应力完全没有抵抗作用，只要施加了应力，不管应力有多弱，它就会变形。另一端是理想刚体^[5]，它在任何应力下都不会变形，无论应力有多强。

因为流动运动是由微小的变形形成的，我们也可以说，牛顿流体只能流动，不能被推动，而刚体是一种只能被推而不能流动的物质。流变学研究的是介于液体和固体之间的物质的运动。

例如，冰川是由固体冰组成的，在短时间内观察它们时，它们看起来是固体的，但在足够长的时间尺度上，冰川会移动和流动，就像一条河流。

普通液态水也表现出类似的行为。当水球被刺破时，水不会立即溅出来。在极短的一瞬间，水大致保持了气球的形状。

这表明，在很短的时间内，水具有类似固体的行为，只有在观察足够长的时间后才开始像液体一样。

这是一个普遍趋势的两个例子，一个物质样本在很长一段时间内更像液体，而在很短一段时间内更像固体。

为了确定在特定的实验中，材料样品更像固体还是液体，我们给该材料指定一个参数 De ：

$De = \tau / T$

$$De = \frac{\tau}{T}$$

在这个公式中， T 是实验持续时间， τ 称为松弛时间^[6]，是一个特征时间尺度，给定的材料倾向于进行变形过程。在实验中， De 大于 1 表示物质更像固体，而小于 1 表示物质更像液体。

在他的论文中，法尔丁假设实验时间是完全受控的，因此他研究了松弛时间，以确定猫在多大程度上是液体。

那么猫是液体吗？

法尔丁进行了一个非常简单的研究，以找出松弛时间的可能取值范围。利用数值模拟技术，法丁得出结论，猫在 1 秒的实验时间尺度上表现得像固体。我们也可以通过观察猫从一个很小的高度掉下来来得出同样的结论，当猫用脚着地时，它会表现得像一个固体。

从更长的时间尺度来看，法尔丁考虑了下面这个小猫坐在酒杯里的例子：



在这个例子中，小猫在进入平衡状态后，“匹配”了容器的几何形状，因此它的行为就像液体一样。通过对猫的观察，可以发现它们“变形”所需的时间，在一个容器里安顿不超过几分钟，所以可以说猫在 1 分钟的时间尺度上表现得像液体。



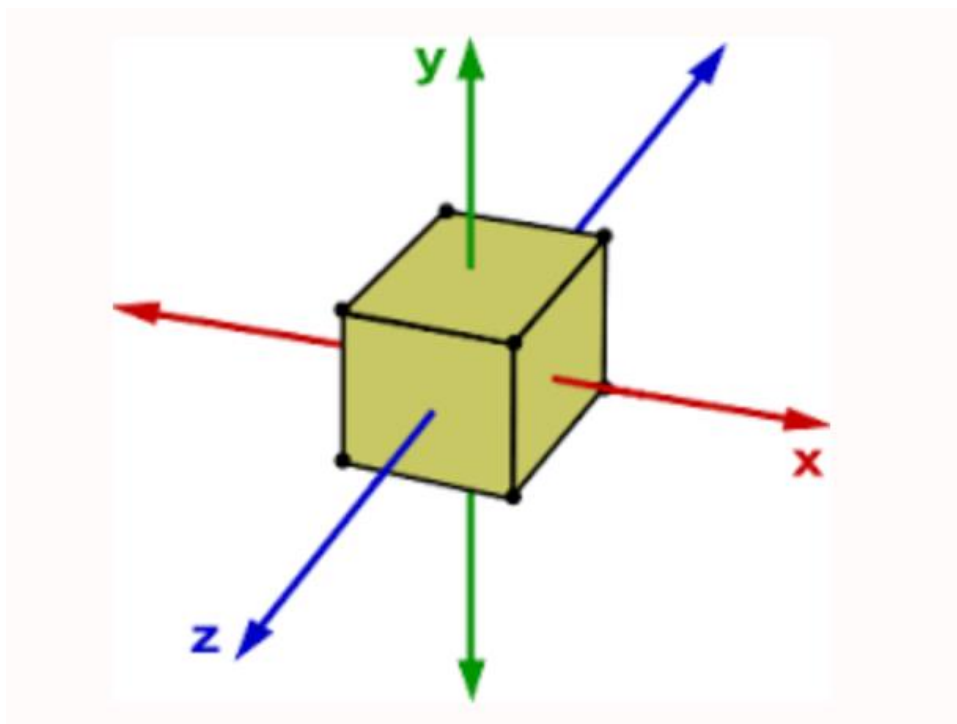
由于猫在 1 秒的实验时间尺度上表现得像固体，而在 1 分钟的实验时间尺度上表现得像液体。所以问题的答案是肯定的。在至少 60 秒的时间里，一只放松的猫会变成液体，也就是说，类液体的动力学行为会“压倒”类固体的动力学行为。法尔丁还顺便指出，长毛猫也可以表现得像气体，因为它们的皮毛可以膨胀到装满一个容器。



现在我们将讨论法丁研究过的猫的其他一些流变学特性。

精确测定松弛时间

在他的实验中，法尔丁将松弛时间 τ 视为一个标量，但情况不一定是这样。一般来说， τ 是一个被称为二阶张量^[7] 的量，这意味着它依赖于参考系的选择。特别是， τ 可以依赖于应力作用于样本的方向，相对于固定在样本中的一组坐标轴，称为主坐标轴。主轴可以用来有效地描述样本的方向，它们可以被认为提供了一个坐标系统，根据样品的几何形状和密度分布，在某种意义上是“自然的”。



一个刚硬且密度均匀的立方体的主轴从中心开始，并指向各个面。这个立方体对施加在表面上的力的响应将取决于力的方向和施力点相对于主轴的坐标。

对于具有更复杂几何形状的物体，特别是可变形物体，主轴的确定要复杂得多，我们在这里就不讨论了。然而，如果物体的长度远远超过其宽度或深度，那么将其长轴（沿物体长度方向穿过质心的一条线）称为主轴是有意义的。沿着主轴的变形叫做拉伸，而垂直于主轴的变形叫做剪切。

在没有容器的情况下，猫似乎更喜欢纵向放松，背挺直，就像下面这个例子，有些猫甚至会故意寻找长容器：



这表明猫在拉伸变形时的松弛时间比在剪切变形时的松弛时间短，所以猫在明显长于容器宽的容器中“更像液体”。所以猫是液体还是固体的问题不仅取决于观察时

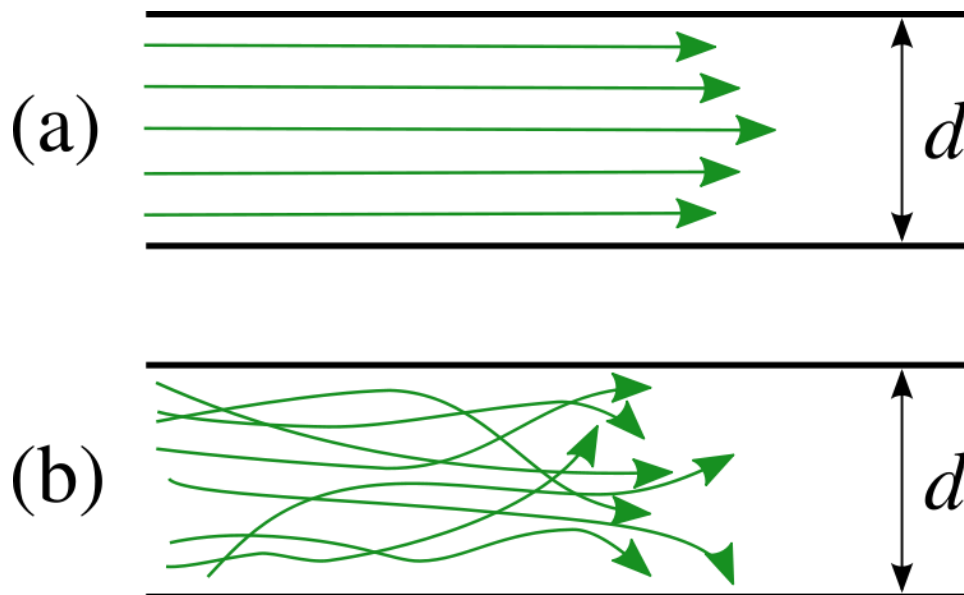
间，还取决于容器的几何形状。

不稳定流

当物质在其体积内各处不断变形时，就发生了流动。当变形速率非常大时，被称为二次流的更为复杂的流体行为开始出现，最终，当变形速率足够大时，流动变成了湍流。在松弛时间为 τ 的实验中，流态由雷诺数-魏森伯格数[8]给出：

$$Rw = \tau \dot{\gamma}$$

式中 $\dot{\gamma}$ 为变形速率的大小。对于 $Rw \ll 1$ ，流动简单稳定。这叫做层流。对于 $Rw \approx 1$ ，二次流开始变得明显。随着 Rw 持续增加超过 1，流动运动开始分解，并转变为湍流，这被称为不稳定性。



从稳定流到湍流的过渡

那么，猫是否会因为 Rw 值的增加而表现出流动不稳定性呢？

漩涡是湍流最简单的例子之一。漩涡是流体绕轴旋转时的流动，如下图所示：



由经过的飞机机翼引起的旋涡运动。

法丁举了一只猫在圆柱形容器中旋转的例子，来说明猫确实有旋转运动：



此外，猫甚至可以在没有容器的情况下进行涡旋运动：



所以湍流是可能的，但是有一个主要的复杂性。法尔丁解释说，猫不同于水或空气等简单的“被动”液体，它们是“主动的”，这意味着它们有自己的原动力，可以在不受外界影响的情况下自发移动。因此，猫可能经历紊流运动，即使受到可忽略的应力。这意味着我们还不能最终确定增加 R_w 是否一定会导致猫流动不稳定。

6. 结论

猫是一种具有一定液体属性的固体。短时间内，猫所呈现的液体性质更多；而在相对长的时间内，猫则是固体性质更多。

7. 参考文献

1. <https://baike.baidu.com/item/固体/2077925>
[固体 百度百科 \(baidu.com\)](#)
 2. <https://www.liebao.cn/8/intro/index.html>
[液体 百度百科 \(baidu.com\)](#)
 - 3: <https://baike.baidu.com/link?url=6K1JYdiBAroGtooqlnWaBkqFTfYvxILWEM8cwwv9NfDFYfRg1BMpCUff-u08VjYfkkjf2yH1J2JuXHVcoBoh9vZKSGLbrJYUCLoAubFL7y>
[猫（猫科猫属动物） 百度百科 \(baidu.com\)](#)
 4. <https://zhuanlan.zhihu.com/p/96994311>
[“猫是液体吗？”科学家们认真研究了这个问题 - 知乎 \(zhihu.com\)](#)
 5. <https://www.bilibili.com/read/cv2577490/>
[喵星人到底是固态还是液体？ - 哔哩哔哩 \(bilibili.com\)](#)
 - 6: <https://new.qq.com/rain/a/20210206A0CLL500>
-

-
- 神奇的动物——猫，真的是液体吗？通过严格的物理和数学证明 腾讯新闻 (qq.com)
7: <https://baike.baidu.com/item/%E8%BF%9E%E7%BB%AD%E4%BB%8B%E8%B4%A8%E5%8A%9B%E5%AD%A6/651165>
- 连续介质力学（连续介质力学） 百度百科 (baidu.com)
8. <https://baike.baidu.com/item/牛顿流体/4508344>
牛顿流体 百度百科 (baidu.com)
9. <https://baike.baidu.com/item/理想刚体/5871238>
理想刚体 百度百科 (baidu.com)
10. <https://baike.baidu.com/item/%E6%9D%BE%E5%BC%9B%E6%97%B6%E9%97%B4/843908>
松弛时间 百度百科 (baidu.com)
11. zhuanlan.zhihu.com/p/35845462
并矢，外积与二阶张量 - 知乎 (zhihu.com)
12. <https://baike.baidu.com/item/%E9%AD%8F%E6%A3%AE%E8%B4%9D%E6%A0%BC%E6%95%B0/16811061>
魏森贝格数 百度百科 (baidu.com)

8. 注释

[1]: 荷叶，是超疏水的，因为表面张力导致液滴停留在表面微观纹理的凸起上。



然而，这种“荷叶效应”将是相反的。不是粗糙的表面排斥光滑的水滴，而是粗糙的皮毛排斥光滑的表面

[2]：现代流变学是力学的一个分支，研究同时具有流体和固体特性的材料的运动。流变学本身是连续介质力学的一个分支，它研究宏观物质体的运动，这些宏观物体被假定完全填满了它们所占据的空间（即忽略分子结构和其他微观缺陷和不连续）。

[3]：研究连续介质宏观力学性状的分支学科。宏观力学性状是指在三维欧氏空间和均匀流逝时间下受牛顿力学支配的物质性状。连续介质力学对物质的结构不作任何假设。它与物质结构理论并不矛盾，而是相辅相成的。物质结构理论研究特殊结构的物质性状，而连续介质力学则研究具有不同结构的许多物质的共同性状。连续介质力学的主要目的在于建立各种物质的力学模型和把各种物质的本构关系用数学形式确定下来，并在给定的初始条件和边界条件下求出问题的解答。

[4]：任一点上的剪应力都同剪切变形速率呈线性函数关系的流体称为牛顿流体。最简单的牛顿流体流动是二无限平板以相对速度 U 相互平行运动时，两板间粘性流体的低速定常剪切运动（或库埃特流动）。

[5]：受外力作用，不会发生形变，完全弹性，在任何机械运动过程中，点与点之间的距离在任何时刻都保持不变，因而其形状、大小都不变的固体。理想刚体内各处的应变等于零，但应力不一定等于零。实际上并不存在理想刚体。为了处理某些实际问题的方便，在固体的变形对这些问题的结论无关紧要时，不妨把有关固体当作理想刚体来看待。但在研究地壳变形时，不能把地壳中的岩块和岩体当作理想刚体看待。

[6]：物体受力变形，外力解除后材料恢复正常状态所需的时间。

[7]：从两个矢量到标量的双重线性映射

[8]：以 Karl Weissenberg 命名的，缩写为 Wi 或 We ，具体是指在粘弹性流动研究中使用的无量纲数，其中无量纲数比较了粘性力与弹力。可以从多角度给出魏森贝格数的定义，但通常由流体的应力松弛时间与具体的加工时间的关系给出。
