

界面奇观

活跃在界面上的分子



福建教育出版社

界面奇观

活跃在界面上的分子

詹仲谋 编著

福建教育出版社

界 面 奇 观

活跃在界面上的分子

詹仲谋 编著

*

福建教育出版社出版

福建省新华书店发行

莆田市印刷厂印刷

787×1092毫米 1/32 5.5印张 110千字

1984年6月第一版 1984年6月第一次印刷

印数：1——6,580

号书：7159·898 定价：0.52元

前 言

亲爱的读者，你可能从来也没有意识到，在我们所生活的周围物质世界中，还有一个变化莫测、气象万千的自然奇观吧！这就是发生在界面上的许许多多五光十色的自然现象。其中的一些可能是你经常碰到的，但却熟视无睹，没有引起你的注意。例如你可能看到过正在燃烧的湿柴，在没有着火的那头会不断向外冒水，即发生所谓“木材哭泣”的现象吧！可是你却习以为常，并没有想到要问一个“为什么”。另外一些现象，你看到或听到以后虽然也感到十分惊奇，但却不一定懂得其中的奥秘。比如说，对于“不锈钢为什么不会生锈”这一类问题，可能曾经把你弄得废寝忘食吧！还有一些怪现象，也许还是你第一次听到的，如“樟脑会跳舞”、“粉笔灰怕热”……可是，这些现象的发生和变化过程却都

和本书所要谈到的“界面”有关。我们日常所说的“表面”实际上就是指固体或液体和气体相互接触处的分界面，简称为“界面”。因此在书中凡是讲到表面时，也就是指“界面”而言，一般不加区别。

界面可以由物理性质和化学性质都完全不同的物质形成，如金属固体和水的界面；也可以由物理性质不同而化学性质相同的物质形成，如冰、水共存时所形成的界面；还可以由物理状态相同但化学性质不同的物质形成，如油、水共存达到稳定状态时它们之间所存在的界面，等等。界面上的问题初看起来似乎很简单，但实际上的变化却很大。例如同样

是1克水，当它的外形是一个立方体时，其表面积只有六个平方厘米；但如果把它喷洒成为直径为五十万分之一厘米的球形雾状小水点时，它们表面积的总和将增大到一千二百平方米左右，这相当于三个篮球场的总面积。这个变化有何等之大啊！实验结果还告诉我们，在物体表面的形成和变化的过程中，将伴随着能量的储存和增减。大家还知道，一个体系能量的变化，又必然和这个体系的物理变化或化学变化相联系的。这也就从能量的观点出发为我们进一步解释界面上所以会发生一系列光怪陆离的现象提供了理论根据。上面谈的是物体的宏观变化，下面再从微观理论——原子分子理论对界面上所发生的一切现象作一个粗略的分析。大家知道，一切物质都是由分子组成的，而分子又是由原子组成的。世界上虽然只有一百种左右的元素，但是由这一百种左右元素的原子，通过各种化学变化，却形成了我们周围形形色色的何止亿万种的物质分子。当两种物质相接触而形成界面时，那么界面两旁的各种物质的分子，既可与同种的分子接壤相处，又可与界面另一边的不同分子比邻共居。而且根据分子运动理论，我们还了解到：一切物质的分子都在不停地运动着。因此我们可以想象在界面上分子的运动情况是非常喧闹的。如果把界面比作舞台，那么分子就是扮演着生、旦、净、丑各种角色的演员，而界面上所发生的一切现象和过程，就是这些无数的演员为人们所献演的各种精采节目了。因为演员是如此之多，所以演出节目的丰富多采，也将使得我们这些观众觉得眼花缭乱、目不暇接了。

下面就请全体观众按照报幕员所提供的节目单一幕幕地观看下去吧！

目 录

前言	(1)
一、表面张力	(1)
液体的天然形状	(1)
未发挥好的潜力	(4)
特殊测力计	(10)
纸屑聚散	(13)
樟脑跳舞	(16)
多才多艺的小技师	(19)
怕热的粉笔灰	(25)
二、毛细管力	(29)
灯芯吸油	(29)
升得多高?	(30)
“水锁”	(34)
谁是破坏者?	(35)
“气塞”	(39)
木材“哭泣”	(40)
泥地洼陷	(44)
三、吸附	(46)
吸附和表面张力	(46)
花布褪色	(49)
固体吸附剂	(53)

防毒面具.....	(58)
红糖变白糖.....	(65)
植物吸收肥料的秘密.....	(73)
四、表面膜.....	(80)
水面“栅栏”和液体“透镜”	(80)
不锈钢为什么不生锈?	(85)
化学抗旱.....	(90)
五、润湿.....	(94)
量度润湿能力的“标尺”	(95)
接触角的测量.....	(98)
可湿性D、D、T.....	(102)
隐身的防潮战士.....	(106)
不漏水的布.....	(110)
焊接.....	(112)
“白毛浮绿水”	(116)
矿物浮选.....	(120)
六、表面电现象	(126)
摩擦起电.....	(126)
用电来净化粘土.....	(130)
用电来“夯”实土壤.....	(134)
离子“筛”	(136)
七、粗粒分散体系	(141)
悬浊液.....	(144)
乳浊液.....	(148)
泡沫.....	(153)
烟、雾、尘.....	(162)

一、表面张力

液体的天然形状

说到液体的形状，大家都会认为液体并没有固定的形状。放到什么容器中，它就采取那个容器的形状。即使是液滴，放在不同的固体上也是呈现出不同的形状。其实，这是液体受到重力和固体作用的结果，身不由主，不得不改变原来的“体态”。要叫液体原形毕露，这也不难。把橄榄油或花生油放在适当比例的酒精和水的溶液中，使得重力的作用恰好被浮力抵消，这时候你就可以观察到一个球形油珠悬浮在溶液中。这就是液体的天然形状(图1)！

其实也不必象上面说的那样特地去做实验。自然界尽有天然的“标本”，并且随时随地都在进行表演。荷叶上滴溜溜的水珠，凝在全部被尘埃覆盖的路面上的小水珠，还有玻璃上滚来

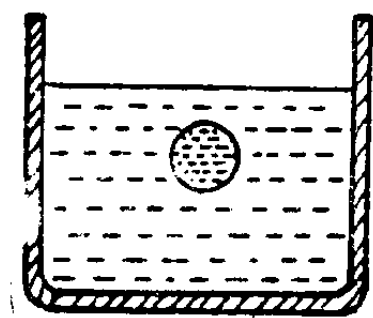


图1 油滴在同比重液体中的形状

滚去的水银珠，都大体上是球形的！由于自由落体处于失重状态，铅汁在从高处落下的过程中就会被冷却凝固成球形的铅弹。根据同样的道理，可以推想空中下落的雨滴，它也是球形的。当蜂蜜由匙中成细流倒出时，如果把匙子轻轻往上一提，使蜜柱往上一缩，在蜜柱端就会形成一个小蜜珠。

为什么液体的天然形状是球形的呢？

很早以前，人们就想象整个液体表面就象一张绷紧的弹性膜，其中存在有一种方向与液面相切的特殊的张力，它有使液面尽量收缩的倾向，就象被拉紧的一条橡皮带具有收缩的倾向一样。由于这种表面张力的存在，我们可以设想在液面上任一处划一直线时，线左边的表面张力将有把线拉向左边的趋势，而线右边的表面张力则有把线拉向右边的趋势，它们成为一对作用力和反作用力，其大小视线的长度而定（图2）。单位长度上的张力就叫做表面张力系数，通常用字母 σ 表示之。一个非常简单的表演可以使我们明显地觉察到表面张力的存在。只要用两条金属丝A、B做

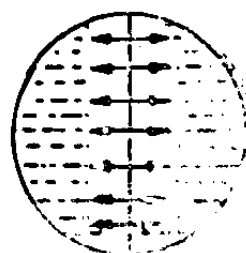


图2 作用于液面任一假想线两边的力

成的小框，其中A固定而B可以上下移动（图3）。当我们在小框上形成液膜时，因为液膜的表面张力有使液膜表面收缩的倾向，所以金属丝B有向上移动到A处的倾向。只有在B的下端悬挂重量

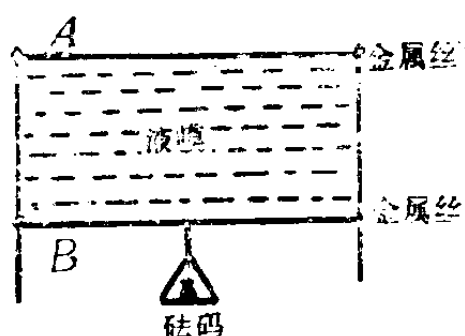


图3 液膜的伸缩

适当的砝码时，依靠重力才能平衡表面张力，液膜也才能最后生成。因为液膜有两面，所以1厘米长度金属丝上所加重的砝码重量应该是液体表面张力系数的两倍。其实，这也是一种最简单、最直接地测量液体表面张力的方法。

在上面的实验中，将金属丝向下移动而形成液膜时，外力必须反抗表面张力做功，这个功转换成表面能储存于所形

成液膜的表面上。作用于1厘米长度液面上的表面张力既然是 b ，那么将液膜拉下1厘米以形成1厘米²的新液膜时所做的功，在数值上就等于表面张力 b 。它变成了这1厘米²液膜上的表面能——比面能。不过表面张力系数的单位是〔达因/厘米〕，比面能的单位是尔格/〔厘米〕²。显然，总表面能 W 应该等于比面能 b 与液体总表面积 S 的乘积，即

$$W = bS \text{〔尔格〕}。$$

表面能也是一种自由能（所谓自由能是指可以较容易转换为功的能），它有自发降低到最小值的倾向。当比面能一定时，体系表面能的降低只有通过缩小表面积的途径来实现。

由几何学的计算可以证明，在体积相同而形状各异的物体中，球形具有最小的表面积。因此，当条件许可时，液体总是以球的形状出现。并且，几个微小的液滴一旦互相接触，就能自动合并成为大液滴。固态物质同样具有表面张力。但是，对于晶体来说情况比较复杂，因为不同的晶面有不同的表面张力，所以固体的天然形状并不像液体那样呈球形，而是自动调整到使得各晶面表面能之和为最小值的那种形状。

由此可见，自发缩小表面积的倾向是液体的一种通性。这就是为什么把一个粗糙的玻璃管口在火焰上熔烧，它就能逐渐变得圆滑起来；为什么毛笔在水中时，笔毛会一根根地分散开来，可是一提离水面，它们就聚集在一起；为什么在游泳或洗头时，本来在水中蓬松散开的头发，一出水就平平贴

贴地合拢来；为什么砂子在水中时是“一盘散沙”，可是一拿出水面就可捏成一团。

当物体处于高度分散状态时，拥有巨大的表面积，其总表面能也比较大，它在许多方面的性质就与大块物质截然不同，这是物质由量变到质变的必然的结果。例如，小液滴的蒸汽压比大液滴的高，所以当大小不同的液滴处在一起时，小液滴能逐渐蒸发而凝聚到大液滴上，结果小液滴逐渐缩小而消失，同时大液滴逐渐变大。又如，小晶粒比大晶粒有较高的蒸汽压，所以当大小晶粒混杂并存时，常常观察到小晶粒逐渐消失，大晶粒逐渐变大。此外，微小晶体的熔点低于大晶体的熔点，微小晶体的溶解度大于大晶体的溶解度。微细粒子的化学反应也较粗大粒子容易。所有这一切过程都导致体系向着表面能降低的状态转变。

未发挥好的潜力

初看起来似乎是十分平静的液体表面，其实是熙扰不宁的。原来液体分子在表面上进进出出，非常频繁。有些分子从液体的内部跑到表面，有的则从液体表面跑回内部；有的还会脱离液面而跑到邻近空间中去，有的则从邻近空间中跑回液面来。例如，在温度为 20°C 时，水在真空中的蒸发速率是 $0.25\text{克}/(\text{厘米})^2\text{秒}$ ，这就相当于每秒钟每平方厘米的水面上有 8.4×10^{21} 个水分子离开水面。分子在液面上停留的时间极为短促，平均每个分子只逗留几百万分之一秒。

在液体的内部，分子虽然不断地在运动，但平均而论，每一个分子的周围都布满了自己的同伴，它们会从各个不同的方向吸引这个分子。这些吸引力互相抵消，结果这个分子所受到的合力是零。用个科学的术语，就说这个分子的力场是平衡或饱和的。可是，位于液体表面层中的分子，它们的受力情况就不同了。表面层一方面与液体内部接触，另一方面却与外部气体接壤。由于气体中分子的密度是极其稀薄的，单位体积中的分子数比液体中少几千倍，它们对液面上的这个分子的吸引力几乎可以忽略不计。因此，一个液体分子在表面层中主要是受到的来自液体一方的吸引力。由于各个方向上对这个分子的吸引力，不能互相抵消，结果这个分子就将受到一个指向液体内部的合力。在这种情况下，我们就说这个分子的力场是不平衡或不饱和的。因为分子间的吸引力随着分子距离的增加而迅速降低，所以这种分子力场不平衡的表面层的厚度大约只有1—3个分子大小的数量级。我们可以把表面层看做是由液体内部到气体的过渡区域(图4)。

因为液体表面层中的分子受到液体内部分子很大的吸引力，这就无异对液体的表面层作用着一种附加压力。这种由分子间吸引力产生的压力，叫做分子压力或内压力。当液体内部

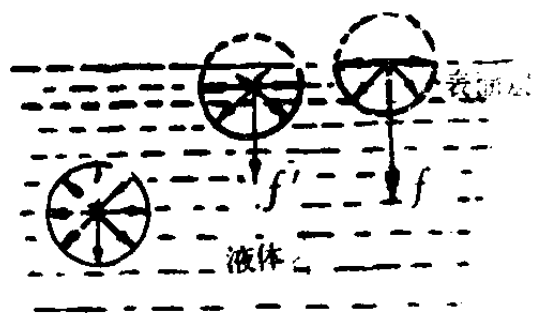


图4 液体内部分子与表面层分子的受力情况

分子向表面层迁移而增大液面时，便必须克服这个阻力做功，而转换成为势能的形式贮存于液体的表面层中。这种势

能只有分子处于表面层时才有，叫做表面能。

由于指向液体内部的巨大分子吸引力的存在，使得分子从液体表面层被吸引向液体深处的速度，比起它们从液体深处被排斥到液体表面层的速度要大得多。因此，分子一有机会就尽量挤入物体内部，这就是为什么液体的表面有自动收缩的倾向。液面上的分子除了受到它下面分子的吸引以外，它受到它“左邻右舍”分子的吸引，所以液体表面就象一片张紧的弹性薄膜。

在任何两个不同物质所形成的界面层中，两批不同分子间的吸引力决不会一样，这也就是说总有不平衡或未饱和的力场存在。因此，不但是液体与气体之间形成的表面存在着表面张力，任何表面或界面，都有表面张力或界面张力存在。表面层中分子、原子或离子周围的力场不平衡或未饱和，这就意味着这些分子、原子或离子还有过剩的尚未发挥的潜在力量，可以同外部的粒子进行吸引，它们“余勇可贾”，可以利用来替我们做很多有用的工作。

液体分子间为什么有很大的吸引力呢？

谁都知道，在普通情况下液体的密度比气体大得多。液体，当它变成蒸汽以后，要占据比原来大几千倍的体积。这样一来，在蒸汽中分子与分子间的距离是够大的，但在液体中，分子则几乎是一个挨一个地挤在一起的。一般说来，液体分子间的距离大约只是标准状况下气体分子间的距离的十分之一。分子间的吸引力随着分子的相互接近而迅速增大，因此液体分子间的吸引力比起气体分子间的吸引力要大。

好多倍！液体所以能够维持在一定容器中，就全靠这种分子间的吸引力。假如液体分子间突然停止吸引，要想使液体仍然能维持在它所占据的容器中，便必须从外部施加压力，否则液体必然会象一窝蜂那样地霎时四散逃逸得无影无踪。

液体中有这么大的分子压强，我们为什么一点也觉察不出来呢？这是因为分子间除了有相互吸引力以外，还有很大的相互排斥力，因液面指向液体内部的分子压强被分子间的相互排斥力所平衡。因此，任何东西放进水中，分子压强对它不发生影响。所以，我们尽可壮着胆子把手伸进水中，不必担忧手会被水砸碎。要觉察分子压强的存在，必须改变分子间的距离，例如把液体压缩。大家知道，分子之间存在引力和斥力，在正常情况下两力互相平衡，这时候两个液体分子间的距离被称为平衡距离 r_0 。如果液体的体积减小一点点，（分子间距离 $r < r_0$ ），斥力就占优势，因此液体受压缩时，将要遭到极强烈的反抗。要使杯中水的体积压缩了4%，就必须加上数十吨的压力。有人往钢筒中灌进水银，然后用极大的压力把它压缩，结果水银竟通过坚固的筒壁，渗透到钢筒外面来了！

分子压强来源于分子间的作用力，它的数值从数十到数十万个大气压不等，我们日常生活中碰到的压强，仅仅是它的一个尾数而已！水的分子压强有一万一千个大气压，这就相当于一个截面为一平方厘米长达一百一十公里的水柱所产生的压强；水银的分子压强是四万个大气压；酒精的分子强压

是二千四百个大气压（图 5）。

表面张力的根本来源既然是由于液体表面层中分子受到不均衡的吸引力而产生的，可以预计一种液体分子压强的大小必然反映到它的表面张力的大小上来。事实正是如此，液体的表面张力与内在压强大

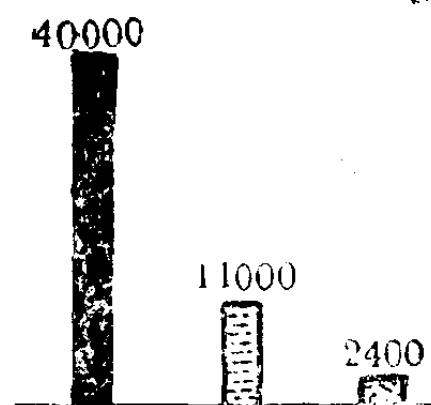


图 5 水银、水和酒精分子压强大小的比较

致成正比的关系。例如 20°C 时，水银、水、酒精的分子压强分别是 40000、11000、2400 个大气压，而它们的表面张力系数则分别为 471.6、72.75、22.3〔达因/厘米〕。

在室温条件下，一般液体的表面张力系数的数量级约为 100〔达因/厘米〕。在普通液体中，水有最大的表面张力系数 72〔达因/厘米〕。有机液体的表面张力系数较小，大约 30〔达因/厘米〕。熔融盐类的表面张力系数较大，大约是 150〔达因/厘米〕。熔融金属的表面张力系数高达 1000〔达因/厘米〕。固体的表面张力系数比起液体要大数十、数百、乃至数千倍，并且变动范围很大，例如，食盐的表面张力系数是 11000—39000〔达因/厘米〕。固体的表面张力系数还随不同的晶面而改变，而且与它的断裂强度和溶解度有关。在晶体成长过程中，晶面较小亦即生长速度较大的有较高的表面张力系数，而晶面较大亦即生长得较缓慢的有较小的表面张力系数。

一个液体分子在表面层中既受到液体本身分子对它的吸引力，同时又受到与它接触的另一相分子对它的吸引力。因

此，表面张力系数的大小，一方面固然与液体本身同种分子之间的吸引力——内聚力有关，也就是说与它的内压强有关，另一方面也与另一相异种分子对它的吸引力——粘附力有关。这就是说液体的表面张力系数与液体本身的性质及另一相的性质都有关系。

如果液体的上方是真空或者是和本身的蒸汽、空气或其他气体相接触，这时因为另一相对它完全没有或几乎没有补偿作用，所以表面张力系数就有最大值。但是不同的气体或蒸汽也有不同的影响。例如一种含 Na_2O 32.7% 和 SiO_2 67.3% 的硅酸盐熔晶气体对于物质，它在空气中的表面张力系数是 477 达因/厘米，而在空气和氢气的混合物中则降低到 343 达因/厘米。液体 I 的上方若含有另一种液体 II 的饱和蒸汽，那么这种液体的表面张力系数就会接近于液体 II，而不是接近液体 I。例如 20℃ 时水与被乙醚饱和的空气之间的表面张力系数是 28.5 达因/厘米，它接近于乙醚的表面张力系数 17.06 达因/厘米，而不是接近于它与空气之间的表面张力系数 72.6 达因/厘米。因此，如果不加特别声明，表面张力系数总是指物质与空气或它本身蒸汽平衡时的数值。

对于两种互相接触的液体，它们分子间的粘附力愈大时，力场的相互补偿程度就愈大。在这种情况下，界面张力就愈小，并且它们相互之间的溶解度也愈大。反过来说也是对的。例如在 20℃ 时，己烷苯与水的界面张力系数分别是 51.1 和 33.0 达因/厘米，己烷苯极难溶于水中；而哥罗仿对水的界面张力系数是 27.7 达因/厘米，它很容易溶解于水中。凡是一种

物质能提高两种液体互溶度的,就能降低它们的界面张力;反之,能降低两种液体互溶度的物质,就能提高它们的界面张力。例如把乙醇添加到异戊醇——水中时,乙醇提高了它们的互溶度,同时降低了它们的界面张力。对于两种几乎完全互溶的液体,当它们互相饱和时,它们的界面张力系数大约等于这两个饱和溶液各自与空气接触时的表面张力系数之差。当两种液体分子之间的相互吸引力大到足以完全补偿其中一种液体深处分子的垂直作用力时,分子的力场就完全得到饱和。此时界面张力等于零,两种液体完全互溶。例如水和乙醇就是这样。

特殊测力计

在讲正文之前,我们先来一段插曲,介绍一种和界面问题关系十分密切的物理概念——润湿。把几根细玻璃管垂直插入装在容器中的水里,我们立刻可以看到,这些管子里的水面将会高出容器里的水面,而且管子的内径越小,管内的水面就越高(图6A)。相反地,如果把这些细玻璃管插入装在容器里的水银中,则管内的水银面将要比容器里的水银面低些,管子的内径越小,管内的水银面就越低(图6B)。我们于是把水叫做“对玻璃具有润

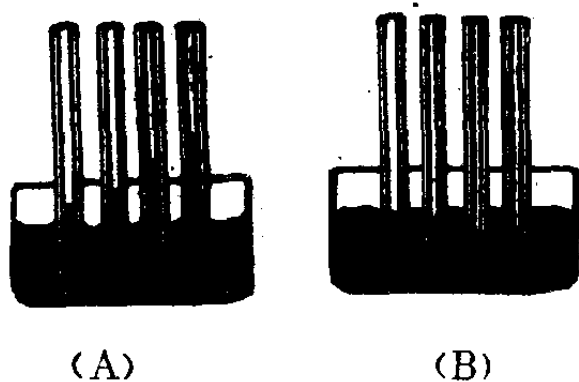


图6 毛细现象