

典藏 科普图书馆

中国科学院院士 **叶叔华、郑时龄** 郑重推荐

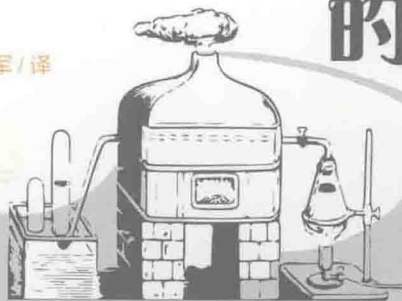
世界科普巨匠经典译丛·第二辑

· 聆听科学巨匠百年之音，激发科学探索之志 ·

THE STORY OF CANDLES
AND SOAP BUBBLES

蜡烛和肥皂泡 的故事

(英) 法拉第 / 著 李爱军 / 译



引领你迈入科学圣殿的经典科普名著

最能激发学习兴趣的经典启蒙读物

从最寻常、最普通的事物中，寻找最不寻常、最隐秘的科学道理

上海科学普及出版社

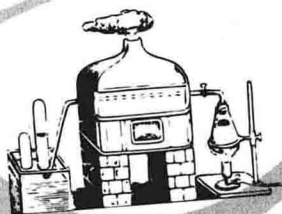
典藏 科普图书馆

THE STORY OF CANDLES
AND SOAP BUBBLES

世界科普巨匠经典译丛·第二辑

蜡烛和肥皂泡的故事

(英) 法拉第 著 李爱军 译



上海科学普及出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

蜡烛和肥皂泡的故事 / (英) 法拉第著; 李爱军译. — 上海: 上海科学普及出版社, 2013.10

(世界科普巨匠经典译丛·第二辑)

ISBN 978-7-5427-5842-2

I. ①蜡… II. ①法… ②李… III. ①化学-普及读物 IV. ①O6-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 177272 号

责任编辑: 李 蕾

世界科普巨匠经典译丛·第二辑

蜡烛和肥皂泡的故事

(英) 法拉第 著 李爱军 译

上海科学普及出版社

(上海中山北路 832 号 邮编 200070)

<http://www.pspsh.com>

各地新华书店经销 北京德美印刷厂印刷

开本 787×1092 1/12 印张 14.5 插页 6 字数 176 000

2013 年 10 月第 1 版 2013 年 10 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5427-5842-2 定价: 22.00 元

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题
请向出版社联系调换



第一部分			
蜡烛的故事	001	第四讲	049
第一讲	003	蜡烛中的氢	
蜡烛的火焰		氧和氢反应生成水	
蜡烛的来源			
蜡烛的构成		第五讲	061
蜡烛的变化		空气与氧	
蜡烛的明暗度		蜡烛的燃烧	
		二氧化碳及其性质	
第二讲	019	第六讲	077
火焰的昏暗度		碳、碳质	
燃烧所需的气体		煤气	
水的生成		呼吸和蜡烛燃烧的相同点	
		结果	
第三讲	033		
燃烧生成的水		第二部分	
水的特性		肥皂泡的故事	091
某种化合物			
氢		第一讲	093
		肥皂泡、毛细现象及水的曲率	

苯、乙醚、水、樟脑油及油污的表层

猫盒、水弹、水膜与水点

行星、油珠与液体的重力和强度

第二讲 113

为什么水的表层有弹性存在

大、小肥皂泡的压力结果

不可想象的面

节面与悬链曲面

肥皂泡的曲线与圆锥截面的转迹线

水泡、蜘蛛网、液珠及水射流

第三讲 131

火漆棒

喷泉和电

音乐声与冒烟的火焰

水射流发出的歌声与嘀嗒声

肥皂泡的导电与不导电

曲率消失的其他面

里外两个肥皂泡的不同

人们在肥皂泡这一普遍想象中得到的启示

第四讲 151

一些有用的提示

第一部分 ▶ **蜡烛的故事**

CANDLES AND
SOAP
BUBBLES





法拉第

蜡烛的火焰
蜡烛的来源
蜡烛的构成
蜡烛的变化
蜡烛的明暗度

第 一 讲





感谢大家来到这里参加本次讲座。在此，我们共同探讨的问题是：蜡烛中存在的化学变化。其实，这个课题我以前就讲过了，但我今天仍然要讲，并且希望每年都有这样一次机会。因为这是一个相当精彩的题材，它展现了科学在各个领域中的多姿多彩与神奇，里面还涉及了天地间所有的法则和定律。假如你想在自然科学方面有所造诣的话，蜡烛理化现象的研究将会是你最好的敲门砖。这也是我没有选择其他新课题的主要理由，我相信大家不会扫兴的，那些新的课题虽然也很好，但远没有这个问题更具代表性。

在即将涉入正题的时候，我还要强调一点：由于这个课题的覆盖面很宽，并且，我们都会以严谨的科学态度来面对这个问题，虽然这对台下共事多年的朋友们来讲，有些不太合适。因此，我希望大家能像孩子们聚会时一样，积极地说出自己的观点。在先前的讲座中我做到了，而今我仍然想得到大家的支持。因为只有这样，我站在这个讲台上才能轻松自如地讲解。

咱们言归正传吧。我先给大家讲一下构成蜡烛的材质。有的蜡烛是相当另类的，正如我手边这几根短木和树丫，它们都具有良好的可燃性。另外，大家请看，这里还有一个人们称之为“烛木”的东西，它的木质异常坚硬，开采自爱尔兰的泥炭洞穴。由于这种“烛木”点燃后的亮度与蜡光相差无几，因此，把它分割之后，就成了当地人用来照明的工具。我觉得，这类木头足以体现蜡烛的一般特性，也是我们这次讲解最具有代表性的实体教材。此时，我们具备了可燃物和导致这种可燃物发生化学变化的物质，再把空气持续不断地输入到发生化学变化的地点，这块小木头就能燃烧起来，就如同一支天然的蜡烛。

为了迎合题目，我们还是以市面上出售的那些加工型蜡烛为例进行讲解。大家看一下，这里就有两支加工型蜡烛，我们平时用的都是这种蜡烛。要想制作这种蜡烛，首先要把做烛芯用的粗棉线按一定的长度剪好，再把它的一端系成活套，最后用木棒吊着浸在盛满牛脂的容器里，并不断地提起晾凉，再浸泡。正如图 1.1 所画的那样，不间断地重复这种操作，直到烛芯上包裹了足够的油脂，蜡烛也就成型了。现在，我想以手里拿的这几支蜡烛为例，来对它们的特点进行介



绍，也可使大家的脑海中形成一个初步的概念。这里有几支精致小巧的蜡烛，就是从前煤矿工人在井下作业时的照明工具，直到今天，它仍在一些矿井中发挥着作用。当时，那些采煤的矿工，在下井前都要自己备好蜡烛，同时，他们觉得，蜡烛越小，瓦斯发生爆炸的几率就越低。正是出于这个原因的考虑，再加上要节约成本，于是这种精美绝伦的小蜡烛就出现了，如果把

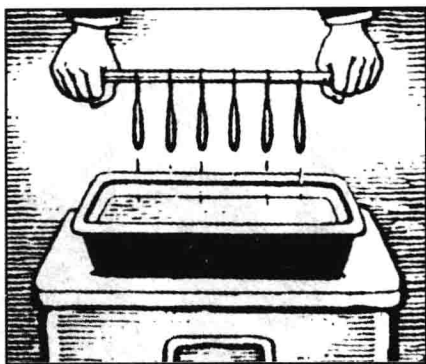


图 1.1

二三十支甚至五六十支放在一起进行称重，总共也超不过 450g。随着时代的发展，出现了油灯，于是这种微型的蜡烛就退居二线了，再后来，各种高性能的灯具又占据了主要位置。我手里还有一支来自英皇乔治号邮船^①上的蜡烛，它与这条沉船一起被海水浸泡了很多年，可见，蜡烛的持久性是非常好的。虽然这支蜡烛浑身布满了裂纹，但将它点燃后，仍旧能够正常燃烧，我们从遇热熔化的蜡油里看到了它真实的本相。

我有几支朋友赠送的蜡烛和制作这种蜡烛的原材料，借此机会我也向大家介绍一下。我觉得，最初的蜡烛原料就是动物的脂肪——牛脂。随着时代的发展，这种动物脂肪又被人们加工成了硬脂。你们看到了吗？我手边就放着这样一块硬脂。大家都很清楚，和牛油蜡烛相比（如图 1.2 所示），硬脂蜡烛早已摒弃了那种油乎乎的感觉，取而代之的是异常的洁净，就算溢出的蜡液被一层层刮下、碾碎，也不会粘附在其他东西上。要想做成硬脂的话，必须经过这样几个环节：首先，将生石灰混入牛油或其他动物脂肪中加热至沸腾，直到呈糊状后，再加入去除石

^① 1782 年 8 月 29 日沉入海底的英皇乔治号邮船，于 1839 年 8 月打捞上岸。可见，文中提到的这支蜡烛，已经在水里浸泡了 50 多年的时间。



图 1.2

灰用的硫酸，最后就得到了由脂肪演变而成的硬脂酸，其中还掺杂着一部分叫做甘油的物质，是牛油在本次化学反应中产生的，它与麦芽糖有很多相似之处。由于它掺在硬脂酸中，因此我们不得不通过挤压的方法将它与混合物分离；大家看到的这些饼子都是挤压之后才形成的，可见随着压力的不断增大，在油质流出的同时，那些杂质也被挤压出来了，此时，只要把剩余的物质加以融化，再进行浇灌之后，就形成了我拿的这种蜡烛。我手上这支蜡

烛就是硬脂材质的，制作方法跟上面介绍的一样，这种硬脂就是从牛油里提炼出来的。你们瞧，这是一支鲸脑油烛，原材料就是抹香鲸的脑油。还有一些蜡烛是用黄蜂蜡和纯蜂蜡做成的。另外一种叫做石蜡的物质更是十分有趣，大部分用石蜡做成的蜡烛，其原材料都是来自爱尔兰的泥炭地里。大家看这个东西，它是远在日本的朋友给我捎过来的，这是一种特殊的蜡，也是最新的蜡烛原料。

那么，这些蜡烛究竟是如何制作的呢？前面我已经介绍了将烛芯浸入油脂的方法，接下来我们探讨一下模具法。假设，做成这些蜡烛的材料都是可浇灌的，“当然可以浇灌了！”在坐的各位会说，“既然蜡烛可以熔化，当然也能浇灌。”然而，事实并非如此。令人感到不可思议的是，随着生产的发展，在为了追求目标而不断思索时，事物通常会发生难以预料的变化，总是想着用浇灌的方法来制作蜡烛是非常不可取的。就拿用蜡浇灌来说吧，根本就无法取得成功，所以我们必须采用一种更为新型的制作工艺。这种新工艺说起来也非常简单，但是由于时间的关



系我就不细说了。总之，蜡除了容易燃烧之外，还非常易熔化，因此不能浇灌。

在这里，我们就用另一种可以浇灌的东西为例详细介绍一下。这里有一个结构架，那些模具就固定在这个架子里，首先我们要让烛蕊通过模具的内部。烛芯是用棉纱线做成的，这就避免了剪烛花的烦恼^①。这根烛芯在细铁丝的支撑下一直延伸到模具的底部，再钉上木钉，这样一来，不但烛芯被拉紧了，并且还恰好好处地填塞了模具底部的那个小孔，这样倒入的烛油就可以完好地保留下来了。把一根小梁横着放在模具的上方，让烛芯在模具里固定好，接着把每一个模具都注满用熔化的烛油。一段时间之后，当降到了一定的温度时，将模具稍加倾斜，使溢出的烛油汇聚在角落里，并清理干净，然后剪去每一个蜡烛底部的烛芯。此时，蜡烛就在这样的模具里诞生了，只需要翻转模具，就会自动掉下来。由于蜡烛是顶端细而底部粗的圆锥形，再加上蜡烛的体积也会由于温度的下降而缩小，因此轻微的晃动就足以让成型的蜡烛脱落。同时，这种模具法还适用于硬脂蜡烛以及石蜡蜡烛的制作。将蜡做成蜡烛也是一件很有意思的事情。你们看，这里有一个吊满棉纱线的大结构架，这些棉纱线的尾部分别用铁箍套牢，主要就是为了避免这里被蜡沾染。我现在就将它们放到熔化的蜡液旁边，看呀，这个架子还能够自由转动呢，随着它的转动，人们就把蜡浇在棉纱线上。等这一次浇的蜡完全冷却后，再浇第二遍，如此反复地进行操作，直到蜡烛达到了一定的粗细再停下来。用这种方法来做蜡烛，就如同给棉纱线穿衣、喂饭一样，当一层层地裹好、一点点地吃饱后，就拿下来搁在一旁。有人送给我几支这样的蜡烛，其中还有一支半成品，因为蜡烛从架子上取下之后，要在石板上上来回搓动，修整外形，待圆锥形的管子浇成顶端的形状，最后一道工序就是剪平蜡烛的底部。这种制作蜡烛的方法，不但简单，还可以随意调整蜡烛的长短和粗细，灵活性很强。

^①加入少量硼砂或磷盐的烛芯，就会伴随着蜡烛燃烧而熔化，不会产生烛花了。



就这样吧，关于蜡烛的制作我就不作过多叙述了，接下来就让我们谈一些更深层次的问题。其实，奢侈品也存在于蜡烛的身上，只是我还没有提到而已，在某些方面，蜡烛的确有一些奢侈现象。你们看这些蜡烛，不管是绛紫色的、还是鲜红色的，都非常漂亮，可见那些新式的化学颜色，都在蜡烛的身上得到了体现。甚至，蜡烛的造型也多样化了：这是一支带有凹槽的柱状蜡烛，看上去非常精美；另外这几根满身纹饰的蜡烛，也是人家送给我的，点燃之后会让人有一种头顶红日，脚踩鲜花的感觉。虽然这些蜡烛细致的做工，赏心悦目的外形，但实用性却很差。就说这根带凹槽的吧，虽然好看，但根本就不是上等蜡烛，其外部形态是主要原因。我将朋友们送给我的蜡烛——展示给大家，就是希望各位能够知道，在蜡烛的制造中人们所取得的成绩，以及接下来要努力的方向。

接下来就要涉及蜡烛发光的问题了。现在我就点燃两支蜡烛，让它们在燃烧中体现出自己独特的功效。我们一眼就能看出来，蜡烛与油灯的确存在着很大的区别，若想让油灯发挥作用，就先把油倒在灯盏里，再将灯草或粗棉纱线放进去，最后点燃灯芯就行了。棉纱线上的火苗燃烧到灯油处，就会自动熄灭，上面的那一段却还是燃烧着的。听到此处，你们肯定会有这样的疑问：为什么灯盏里的油自己不燃烧，而到了灯芯处却能产生火苗呢？这的确是我们急于探讨的问题。然而，与这个问题相比，蜡烛的燃烧就显得更为神奇了。蜡烛是固体的，根本不需要盛放在器皿里，大家觉得，是什么原因才会导致这种固体来到火焰处呢？而不流动的固体，又是如何跑到高处的？即使融化成了液体，怎么也不向四周散开？其实，这些就是蜡烛的神奇之处。

我们这间讲堂里的风太大了，这对于我们的讲座来说有好处也有坏处。由于需要维持事物的基本状态，避免问题的复杂化，所以我想让蜡烛有一个稳定的燃烧过程，在课题的研究中，就算遇到与题目毫不相关的困难，又怎能置之不理呢？我在农贸市场看到菜摊、鱼摊上的那些小贩，每逢星期六的晚上，他们出售商品时，为了使蜡烛不被风吹灭，于是采取了一个非常好的措施，这种聪明才智简直太让我佩服了。他们用一个玻璃罩子将燃烧着的蜡烛罩住，这个玻璃罩子被系在

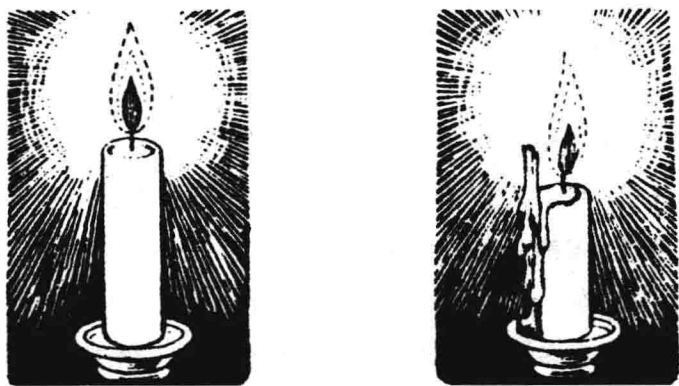


图 1.3

柱子上，并且还能够根据需要上下移动，十分灵活，也很实用。这样一来，蜡烛的燃烧过程就变得非常稳定了，我希望你们回家之后也这样试验一下，并且要仔细观察、认真研究。

我们这会儿看一下刚才点燃的蜡烛。大家先来观察蜡烛的最上面，就是火苗与蜡烛交汇处，出现了一个非常明显的类似于茶杯的凹陷（如图 1.3）。蜡烛在燃烧时会产生一种热流冲力，流经蜡烛的空气，正是由于这个因素的影响才被迫流向上方，这就导致了外围的燃料如牛油、蜡等变凉，因此蜡烛外围的温度要大大低于中间的温度。沿着烛芯向下燃烧的火焰，熔化掉的是蜡烛的中间，而蜡烛的外围则没被熔化。如果我对着火苗轻轻吹气，这个杯状的外缘就会裂出一道豁口，烛油就会顺着这个口流出来，原因就是烛油的平衡状态，是靠使世间万物保持平衡的万有引力来维持的，不再平衡的杯子，当然要流出烛油了。于是，我们知道，杯状凹陷形成的原因，就是匀速上升的空气让蜡烛的外缘一直处于低温状态。所有能做成蜡烛的可燃物，都会在燃烧时形成这种凹陷。但爱尔兰的烛木却是个特例，这种像海绵一样的物质里面，就蕴藏着多种燃料。

听到此处，大家就能知道，我刚才展示的那几支精美绝伦的蜡烛，用起来却并不理想的原因了。这些五颜六色、形状各异的蜡烛，在点燃之后，却形不成一



一个完整圆润的杯子，然而，蜡烛的完美之处，主要就体现这个的杯子上。希望大家听完这个事例之后，能够有这样的意识：实用性是一种产品是否完美的体现，也是产品的灵魂。对人们而言，最方便有用的，就是那些非常具有实用价值的物品。而不是只有外表光鲜的东西。一支漂亮的蜡烛，看上去赏心悦目，点燃之后却令人大失所望，由于气流的不规则上升，形成的杯子就会倾斜，烛油也就随之流了出来。我想大家都见过这种精彩的场面吧：燃烧中的蜡烛，其外缘被烧出了一条小裂缝，这时候，随着气流的上升，开裂的缝隙也在逐渐变大，从裂缝里流下来的烛油也越来越多，最后在蜡烛的壁上积聚成了一根蜡柱。蜡烛越烧越短，蜡柱则越来越高，较冷的气流就更容易流向那里了，这又使它的温度继续下降，对传来的热力，抵抗力就更大了。古人说，吃一堑，长一智。我们在蜡烛研究中造成的错误以及一些不正确的认识，与其他不正确的事情没有任何区别，最后都会留给我们珍贵的训诫，而这些训诫，要通过不断的深入实践，才会得到。所以，请各位一定要把下面这段话铭记在心：在学习、工作、以及平日的生活中，无论产生的结果如何，都必须马上迸发出这样的疑问：“导致这种结果的原因究竟是什么？”其中哪些最新的结果最重要？这些疑问，经过时间的洗礼之后，总有一天会不攻自破了。

那么，烛油到底是怎样从杯中到达燃烧的烛芯的呢？要想把这个问题研究透彻，必须先说明一点。我们清楚，以硬脂、蜂蜡以及鲸脑油为原料的蜡烛，它们燃烧时烛芯上的火焰并没有随意摇摆或向下方蔓延，这就是之所以烛身能够保持完好的关键。这簇火焰与蜡烛顶端杯中的烛油之间，是有一定距离的，并且始终保持不变，也丝毫不会侵犯到杯子的地盘。点燃一支蜡烛，从开始燃烧到全部烧尽，每个环节都衔接得非常顺畅，配合得十分默契，我绞尽脑汁，再也无法想出一个能合作得如此理想的事例。这种叫做蜡烛的固体可燃物，竟然可以不被燃烧的火焰所左右，而是一点一点地、慢慢将自己燃尽，尤其是我们在了解了火焰的威力，以及蜡遇到它之后所产生的悲惨下场，蜡与它一旦接近到一定的程度，立刻就会失去原来的模样时。这简直太让我们震惊了！



然而，蜡烛究竟是怎样为它上面的火苗提供燃料的呢？现在我们就要谈到一种更为神奇的现象了，那就是“毛细管引力”^①。“毛细管引力！”也许你会惊讶地喊道：“毛细管居然也会产生引力！”。至于这个名字，我们暂且不必理会，这是很久以前的称呼了，那个年代的人们对这种引力的认识还非常少。我们要知道的是，将烛油输送并贮存到燃烧地点的力，就是这种毛细管引力；这并不是随意、粗鲁的运输，而是巧妙、精准地送达火焰化学反应的核心区域。下面两个例子也是关于毛细管引力的。大家已经知道了，不管是毛细管引力还是毛细管作用，都是互不相溶的两种物质发生关系的纽带。人们洗手时，伸到水里的手马上就变湿了，用香皂揉搓之后，手仍然很湿，造成这种现象的原因，正是我们所讲的毛细管引力。如果你把自己干净的手指后伸进水里，就会发现水面上方的手指也湿了一小段，尽管你没有做任何检验标记。

你们瞧，这是一只放有食盐柱的圆盘（如图 1.4），它具有很强的渗透性。随后我还会在盘子里倒入一种液体，这种液体是饱和的食盐溶液，而并非水。饱和就是我们平时所说的“饱了”，再也容不下这种东西了。因此在接下来发生的事情中，就排除了溶解的可能性。假设，我们把圆盘当做蜡烛，把食盐柱当做烛芯，而烛油就是将要倒入的食盐溶液（为了看起来更清楚，溶液早就被我染成了蓝色）。

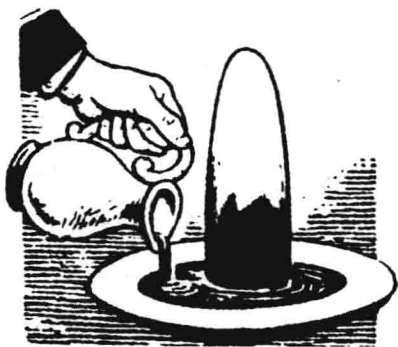


图 1.4

^①这种力可以让液体在细小的管腔内升高或者降低。假如我们在带水的容器里插入一根极细玻璃管子，管内水面上升的高度要超过容器中的水面，原因就是水中各个分子彼此间的引力要比水与玻璃之间的引力小。如果把容器中的水用水银来代替的话，那么水银中各个分子彼此间的引力就会比水银和玻璃间的引力大。管内的水银液面则要低于容器中的液面。

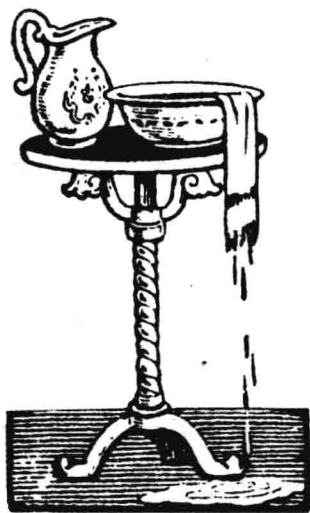


图 1.5

当溶液被我倒在盘子里之后，就立马在食盐柱上攀爬起来，并且越升越高，只要食盐柱足够坚固，登上柱顶是完全没有问题的（如图 1.4）。假如我们倒入的这种蓝色溶液能够燃烧，同时食盐柱的顶端又安有烛芯的话，那么，一旦溶液浸入烛芯就可以把它点燃了。不但能亲眼目睹这种神奇的现象，而且还能见证整个事件的来龙去脉，确实是一件非常有意思的事情。手洗好了，你就会用毛巾来擦拭，此时，在毛细管引力的作用下，毛巾会吸走你手上的水分，既而变湿，这和烛油弄“湿”烛芯是同样的道理。还有一些孩子，他们非常粗心，洗好了手，就把擦手用的毛巾在盆沿上一扔，然后跑掉了，就像图 1.5 那样。天呀，这一扔可糟了，不一会儿，脸盆里的水被毛巾吸收之后，又转滴到了地板上，这是由于虹吸管^①的作用，才使盆沿上的毛巾产生了这种现象。

我讲这些例子，无非就是让大家对物质间的相互作用有一个更清楚的认识。这根盛满水的管子是用铁丝纱做成的，它不仅可以与棉花相媲美，还能与精致的布匹相比较高下。其实，有的铁丝纱也可以做成烛芯。我们不难看出，这根铁丝纱管子的身上密密麻麻地布满了小孔，如果我把很少量的水倒进管子里，它会立刻从管底漏掉。然而，我的问题是：管子在水流经过之后究竟有那些变化？留在管子里的是哪种物质？它停留的原因是什么？听到这些，你们大概会惊得目瞪口呆吧，然后很长时间都说不出话来。实际上，管子里真的有水，虽然你亲眼目睹了水被倒进、漏出的全过程，看上去好像没什么变化。其中的原因并不复杂：倒进

^①液面较高的容器中的液体，能够自动通过管子流入较低液面的容器里，我们把这种现象称之为虹吸，而虹吸管就是液体通过的那根管子，正是由于大气压的作用，才导致了虹吸现象的产生。