

# 玻璃的奇迹

史晓雷

我们知道,玻璃是一种重要的无机非金属材料,日常生活中处处可以看到它的影子。用玻璃制成的各种形状的杯子和花瓶、镜子、窗户上的玻璃、荧光灯的灯管、灯泡的外壳、钟表的外罩、大部分眼镜的镜片等等。我们还可以想象,如果在各门科学研究中缺少了玻璃,那么许多科学研究将无法进行。物理学中,三棱镜、气压计、温度计、阴极射线管都离不开玻璃;化学中更加明显,烧瓶、烧杯、试管、玻璃棒、滴定管、量筒、滴管、曲径瓶等离不开玻璃;天文学中望远镜的镜片,生物学中显微镜的镜片也是玻璃制的。可以毫不夸张地说,玻璃以及相关制造技术对西方早期文明,文艺复兴和工业革命乃至人类的整个历史产生了深远影响。就让我们走近玻璃,掀开它绮丽的历史画卷吧。

关于玻璃的起源,有一个流传很广的故事。说是古罗马的历史学家老普林尼记载,公元前 5000 年左右,一艘满载苏打块的腓尼基商船在海上遇到恶劣天气,不得已抛锚停靠。饥寒交迫的船员打算弄些吃的,但海滩上竟然找不到支撑锅的石头。于是他们把船上的苏打块搬到海滩上支撑炊具,然后生火做饭。第二天,天气转好,等他们将要离开的时候,发现在做饭的炉灰中有一些闪光的小颗粒。于是老普林尼判断,当初这些小颗粒便是后来称之为的玻璃,它们是苏打和沙粒在火的加热过程中形成的。如果该故事属实的话,那么可算人类最早制出的玻璃了,尽管当时纯属无意。但是后来有人重新模拟了这些条件,认为以当时炉火的温度无法使苏打和沙粒发生反应,看来老普林尼的记载或许错了。

那么最初玻璃究竟是如何产生的呢?一种观点认为,古代的陶匠在给陶器上釉的时候制成了最早的玻璃,因为釉在本质上与玻璃无异。当然,具体的年代似乎还不确定,有的说至少公元前 8000 年已经出现了釉,有的说在公元前 3000 年到 2000 年,地点是在叙利亚、两河流域和古埃及。那些地方的陶匠认为制出的陶器表面不够光滑,于是用一些苏打和沙粒撒在了陶器表面,然后放到窑里烘烤,结果在陶器表面出现了一层坚硬而有光泽的东西,我们知道这是釉,也就是最早的玻璃。要知道,早期

的玻璃大都是不透明的,主要的用途有上釉、制首饰或者在一定程度上取代陶器作为日用容器。考古学发现的最早的玻璃器物是古埃及和两河流域的玻璃珠子,年代约为公元前 3500 年。

接下来的是一项在玻璃制造史上具有革命性的技术——吹制玻璃的发明。在此之前,玻璃制品主要靠铸制和磨制,在公元前 1 世纪,吹制玻璃技术诞生于叙利亚或者两河流域。因为当时出现了玻璃熔炉,吹制玻璃的条件已经成熟。熔融温度的提升可以把玻璃熔化为液态,然后玻璃工匠用一根很长的空心铁管伸到玻璃熔液里蘸一团熔液,然后在铁管的外面一端吹玻璃泡,这和我们小时候吹肥皂泡非常相似。玻璃泡可以吹得很薄,这当然需要更高的技巧,再加上一些诸如钳子、小棍棒一类的辅助工具,也可吹制形状复杂的玻璃器皿(见图 1)。后来,玻璃吹制技术传到罗马,那里的工匠把玻璃制造技术发挥到了极致。是罗马人,把玻璃看作了一种重要的生活材料。



图 1 古代的玻璃吹制技术

大约是在公元 4 世纪的中叶,罗马人在玻璃吹制技术中使用了模子。模子的功能有两种:首先更容易控制玻璃器皿的外形,在模子内壁雕出复杂的图案,从而可以在玻璃制品的外形显示出来;其次是有了模子,在一定程度上实现了制造的标准化,可以容易地得到一批相同的玻璃制品。罗马人用玻璃制成了各种玻璃珠子(仿制宝石)和生活器皿(如花瓶、碟子、杯子、盘子、酒杯等),而且他们发展了古埃及的有色玻璃技术,使玻璃制品能够呈现出

各种颜色。我们知道罗马人在建筑上很在行，其中玻璃也派上了用场，作为铺砌材料或者管道用材，窗户上也用过铸造玻璃，但玻璃窗并没有得到繁荣。罗马帝国灭亡之后，玻璃制造技术在帝国的边缘地区保存下来，然后扩展到欧洲其他地区（图2）。



图2 公元4世纪时罗马的网状杯

我们会经常说，眼睛是心灵的窗户，说明视觉对人类的重要性。玻璃与人类视野范围的扩展密切相关，我们先从窗户谈起。古时候，即使在白天房间也很阴暗，因为那时还没有合适的透光材料。历史上曾用过油纸、蜡布，甚至动物膀胱制成的薄膜作为透光材料，但是效果很差。13世纪的时候，意大利的威尼斯成了世界玻璃制造业的中心。大约在1317年，那里已经制造出了釉彩玻璃，用于窗户的彩色玻璃在1330年前后被生产出来。彩色玻璃之所以吸引人，是因为它既能挡住炙热的阳光，同时又能把阳光变成漂亮的图像。中世纪初，建筑物的窗户少而且小，由于玻璃价格昂贵，平板玻璃的制作很困难而且生产出来都是小块的。这些小块平板有色玻璃使建筑师有机会用铅拼合它们，组合成漂亮的图案。当时在教堂里出现了一种“窗画”，用半透明的玻璃组成的图案在阳光下灼灼生辉，使得教堂更加神秘（图3）。后来，用于教堂装饰的彩色玻璃和居民用的素色玻璃逐渐普及，这些技术在欧洲的北部发展得尤为迅速。因为欧洲北部的冬天，白天时间很短而且天气寒冷，正是由于窗户玻璃的出现，使阳光射入室内，才有效地抵御了严寒并且延长了工作时间。

但是，中世纪窗户上的彩色玻璃是用小的玻璃

碎块组成的，透光性能与透明的平板玻璃无法相比。为了制造平板玻璃，11世纪时德国的玻璃工匠先把热的玻璃液吹成圆柱形，然后趁热用刀剖开、展平，冷却以后就成了平板玻璃。这项技术到13世纪在威尼斯发挥到了极致。但是这样吹制平板玻璃的效率非常低，更严重的是玻璃工匠为此付出了严重的健康代价。因为长时间吹制玻璃，他们胸部向前突出，两腮肌肉松弛，耳朵因空气长期压迫而发炎、化脓，眼睛因长期受光刺激而导致视力衰退，很多玻璃工匠因此而年纪轻轻便丧失了劳动能力（图4）。17世纪下半叶，出现了另一种制造平板玻璃的方法——冠形玻璃制造法。工匠们把熔融的玻璃倒在直径五六英尺旋转着的盘子上，靠离心力把玻璃摊平，然后再按需切割玻璃板。但这种方法制成的平板玻璃越靠近中间越厚、越不透明。工业上大规模的生产平板玻璃，则要等到20世纪初了。



图3 中世纪教堂窗上的彩色玻璃



图4 19世纪吹制玻璃的木刻版画

玻璃与建筑的关系也发生着变化。文艺复兴时

现代物理知识

期的建筑师们把高大的竖窗看作地球上的天堂，窗户上的彩色玻璃改变了光线，形成了一种飘忽的氛围，唤起心灵的回应。17世纪，欧洲的玻璃工业发展迅速，法国已经用铸造法生产大面积的玻璃镜和平板玻璃。产业革命对玻璃工业起了巨大的推动作用，在建筑上彰显产业革命成就的时机到来了。1851年伦敦举办第一届世界博览会，巨大的展览馆“水晶宫”（长563米、宽138米、高30米）在钢铁结构的支撑下，用了产自伯明翰和斯梅西克的30万块玻璃。“水晶宫”成了该届博览会最引人注目的“展品”，令英国人无比自豪（图5）。玻璃在人类视觉方面引发的奇迹更令人惊叹。首先是镜子，通过清晰反射得到的自我印象，这是古代东西方铜镜都达不到的效果，启迪了文艺复兴时代的艺术家。镜子达到的立体和逼真效果，诱发了美术家和建筑师的创造源泉，进而研究射影几何，研究透视法，用画笔可以把立体感呈现于二维平面。乔托、马萨乔、阿尔伯蒂、达·芬奇、丢勒等，均对透视法做出了重要贡献。如果我们说镜子引发的透视效果导致了文艺复兴，自然是牵强了，但是文艺复兴作为人类发现自我的意识觉醒，与我们照镜子的发现自我相一致，不是很有趣的“巧合”吗？

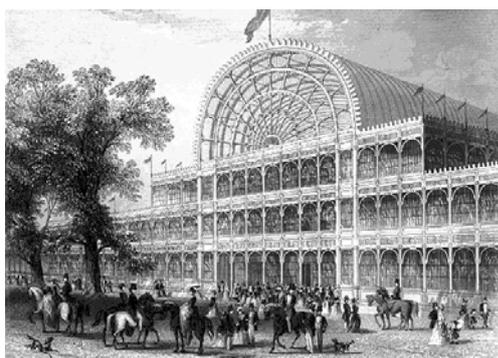


图5 伦敦世博会的水晶宫（1851年）

在近代科学历史上，玻璃的身份更加显赫。今年，是联合国确定的国际天文年，旨在纪念意大利科学家伽利略利用望远镜进行天文观测400周年。1609年，伽利略听说荷兰的眼镜商利帕希发明了第一架望远镜，他便亲自制作了一架。他把一块平凸透镜和一块平凹透镜装在一个管筒两端的适当位置，然后把眼睛靠近平凹透镜，发现可以把物体放大很多。当年他用望远镜观测月球，发现了月球表面的凹凸不平，并绘下了人类第一张月球表面图。后来，伽利略利用望远镜发现了木星的四颗卫星、

21卷第4期（总124期）

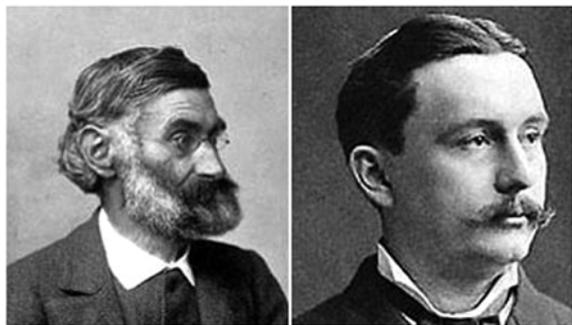
太阳黑子、金星的盈亏现象等，开辟了天文学的一块新大陆（图6）。人类对光学的研究很早就开始了，比如西方的古希腊时期的欧几里得，东方有我国的墨子。但是只是到了16、17世纪，光学研究才与透镜产生了密切联系并取得长足进展。当时众多的科学家（严格说是自然哲学家）都对光学产生了兴趣，比如斯涅尔、笛卡儿、费尔玛、惠更斯、开普勒、卡瓦列里、巴罗、胡克、哈雷、牛顿、马里奥特，这个名单还可以列很长很长。这里要特别说一下牛顿，尽管他的名声是由于力学的成就奠基的，但是牛顿与玻璃却有着不解之缘。首先，牛顿入选皇家学会是靠他发明的一架反射式望远镜，这可是人类历史上第一架反射式望远镜。其次，牛顿利用三棱镜进行白光的分解实验，被恩格斯誉为“创立了科学的光学”。17世纪是科学革命的世纪，在这一百年中发明和使用的最重要的六种科学仪器是显微镜、望远镜、温度计、气压计、抽气机和摆钟，其中前五种的主要或关键部件是由玻璃制造的，摆钟的外壳也用到了玻璃，可见玻璃与近代科学的关系非同一般。你也许会反驳说，时间局限在17世纪结论未免偏颇，即使把视野放宽到人类有意图开始进行实验探究自然奥秘以来的整个历史，玻璃的地位亦然。牛津大学的科学史家罗姆·哈尔挑选了影响人类世界观的20个实验，其中16个没有玻璃仪器便无法进行。玻璃，真是科学奇迹的伟大造福者。



图6 伽利略向红衣主教展示他的望远镜（中立者是伽利略）

19世纪的玻璃制造史上应当提及的三个人是德国的卡尔·蔡司、恩斯特·阿贝以及奥托·肖特。19世纪中叶，显微镜玻璃的制造技术还纯粹依赖工匠们的经验和技艺，德国的机械师卡尔·蔡司立志要摆脱这一窠臼，后来他遇到了物理学家恩斯特·阿

贝。1872年，阿贝根据物理定律得出了显微镜系统最佳物理参数，从而使得蔡司工厂摆脱了经验式的凑合，订单纷纷而至。但是当时生产出的透镜无法达到理论上的峰值效果，看来还需要通过化学合成改变玻璃的材料特性，这样的任务需要一位既是技师又是科学家的人物来完成。历史真是巧合，当时德国鲁尔区的化学博士奥托·肖特正在进行向玻璃中掺加锂的试验，他写信给阿贝请求给予光学检验。当时肖特试图在熔化的玻璃中加入新的元素，用预先计算的配方，改变玻璃的特性，制成使用的玻璃。在试验中，他偶然发现了用不含铁粉的陶土烟管作为搅拌器，结果诞生了均匀无条纹的熔融玻璃生产技术。后来，肖特加入蔡司和阿贝的团队，承担了化学和技术方面的工作，阿贝负责对制出的玻璃进行光谱测定。1881年，可以完全消除色差的硼酸玻璃在蔡司工厂问世，标志着光学玻璃迈入了一个新阶段（图7）。1886年6月，蔡司玻璃技术实验室的第一张产品目录问世了，玻璃工业终于彻底走出了原始的经验生产方式。



(1840~1905)

(1851~1935)

图7 阿贝（左）和肖特（右）

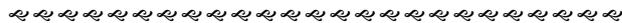
1905年美国人麦克·欧文斯研制成功了世界上第一台真空吸料型全自动制瓶机，该机器在玻璃制造史上应该是古代铁管吹制玻璃以来的最大发明。欧文斯12岁便成了一位玻璃工匠，长期地吹制玻璃，已经使他厌倦了那种乏味、繁重的工作，一心想发明一种可以自动吹制玻璃的机器。1905年，欧文斯的全自动制瓶机研制成功，效率可以达到每分钟生产240个，它解放了制瓶工匠的双手，工匠们从此不用再浑身大汗地用肺部的气力吹制瓶子了。之后，欧洲发明了更加小巧、通用的自动制瓶机，玻璃瓶子迅速进入了人们的日常生活，越来越多的食物、饮料、药品和化妆品都用玻璃来

盛装。1918年，英国出售的牛奶是从手推车的奶罐中舀出售卖的，而1950年英国就生产出了2亿多个牛奶瓶。

同样是在1905年，平板玻璃制造技术也取得了重大突破。比利时的富柯尔特发明了著名的平板玻璃制造法——有槽垂直引上法，可以从玻璃池中连续不断地引出宽度相同的玻璃板。该法1914年投入商业生产。第一次世界大战即将结束时，另一位比利时工程师比切鲁克斯发明了以其名字命名的平板玻璃制造法，该法使玻璃受到机动辊轮的压碾，成为长而薄的玻璃板，压碾出的玻璃板更薄、更光洁。二战之后，英国的皮尔金顿兄弟发明了浮法玻璃，熔化好的玻璃液通过溢流道、流槽连续不断地流入锡槽，在锡液面上摊开并在传动辊子的牵引下向前漂移，在一定的温度控制下，依靠表面张力和重力，完成摊平、展薄而形成平板玻璃。这种玻璃表面无波纹，而且透视性佳。

本文着重介绍了西方和中东地区玻璃制造的历史脉络，我国这方面的历史也很悠久，但遗憾的是，没有一项玻璃制造技术中的重大突破发生在这里。历史是一面镜子，让我们看得真切，让我们发现自我，让我们反省回味。

（北京中科院自然科学史研究所 100010）



### 科苑快讯

### 印刷薄膜电路研制又有新进展

塑料半导体在印刷晶体管电路中的应用推广并不顺利，因为现有塑料半导体几乎均为p型（即空穴传输），通过正电荷传导而工作。所以亟需一种电子传输型材料，确保良好的电传输性能、化学稳定性，而且要易于处理。

美国伊利诺伊州斯科基市（Skokie）保尔佳公司（Polyera Corporation）的严鹤（He Yan 音译）与同事开发了这样一种n型高分子材料，它可与现有p型半导体串联，组成能耗超低的所谓“互补型电路”（complementary circuits）。这种材料与现有印刷加工技术兼容，最终可实现薄膜印刷电路的大规模工业化生产。

（高凌云编译自《欧洲核子研究中心快报》2009年第3期）