

## 初生光明

### 篝火

时光悄悄地流逝。人类在同自然界的斗争中增长着才干，认识了周围的许多事物，火就是其中之一。

原始人发明用火，是经历了艰苦缓慢的实践和认识过程的。

你看，当暴风雨袭来的时候，电闪雷鸣，雷电击到树木或其他容易燃烧的物质上，就会燃起熊熊大火。由于火山喷发或者陨石坠地，也会酿成森林火灾。

我们的祖先起初是并不喜欢火的。那时候，火对人类总是板着一副凶狠的脸孔：大火燃起，烈焰冲天，浓烟蔽日，所到之处，一片焦土。火的破坏性使原始人望而生畏，遇到大火就惊恐万状，逃之夭夭。

但是，遇到火的次数多了，人们就渐渐不以为奇，反而习以为常了。而且逐渐懂得了火也能给自己带来好处：大火过后，被烧死的野兽糊香扑鼻，香美异常，吃起来外焦里嫩；火能使人得到温暖，赶走寒冷；火还可以用作防御和攻击猛兽的武器，因为猛兽也是害怕火的。

一次又一次的实践，改变着原始人对火的认识，他们慢慢地由怕火而变成爱火。当大火再一次袭来的时候，他们不再一跑了之，而是果敢地小心翼翼地把一些还在燃烧的树枝拿回来，并且不断地给它添加新的树枝——精心地“喂养”起来。于是，由几根树枝架起的一堆篝火终于燃烧起来了。

当人类第一次围在篝火旁度过一个欢乐的夜晚的时候，该是一幅多么动人的场景啊！他们兴高采烈，欢呼庆贺，甚至惊喜若狂。啊，他们终于用自己的劳动战胜了黑暗，赢得了光明！火堆，这是人类创造的第一盏“灯”，这是人类掌握的第一种人工光源。

火愉快地燃烧着，善良地微笑着，它由人类的敌人变成了人类的朋友。

原始人开始只是利用现成的火，后来渐渐想到应当保存火种——它们把火置于特别的监护之下，由专人负责看管，不让它熄灭。用火时把火生得旺旺的，不用时让火慢慢地冒着烟。一堆火种往往可以保存很长的时间。

在我国北京周口店的考古发掘中，发现有四五十万年前的北京猿人用火留下的灰烬堆积物。堆积物很厚，说明他们从天然火那里取来的火种昼夜长燃不熄。

天然火得来不易，原始人对火种的珍惜也就可想而知。古代埃及、希腊、伊朗等国的寺庙或城镇，经常点燃着一堆不灭的“圣火”。到了现代，虽然人们在生活中早已不再保留火种，但是，每当举世瞩目的亚运会或奥运会开幕，总有传递火种和点燃圣火的仪式，也是古代传统的再现吧。

火种既然十分珍贵，那么对于不慎让火种熄灭了的看火者，当然要给予非常严厉的惩罚。

惩罚归惩罚，万一火种熄灭了又怎么办呢？只好到邻近的地方去借火。人们用寄生在桦树上的一种菌类来引火。这种菌类像个大蘑菇，点着后能像木炭一样缓慢地燃烧，等到需要火的时候，只需使劲一吹，它就会着起火来。人们用树枝插在菌类上做柄，然后拿着这珍贵的火种飞快地跑过来，再点燃自己的火堆。

借火是很费事的，而且也不保险。有时由于离借火的地方较远，在半路

上火种就熄灭了。甚至还可能借不到火，比如一场大水冲来，人们躲到高处去了，周围是一片汪洋，你到哪里去借火呢？

严酷的现实迫使原始人开动脑筋，想方设法摆脱对天然火的过分依赖，去争取用火的更大自由。

不知又经历了多少万年的实践、探索，原始人终于发明了摩擦取火的方法。

摩擦取火是利用石块互相撞击迸出的火星来取火，这大概是一二十万年以前的事。摩擦取火在人类历史上占有极其重要的地位，人类科学技术的发展正是从这里开始的。就世界性的解放作用而言，摩擦取火甚至超过了蒸汽机，因为它使人类支配了一种自然力，从而最终把人和动物界分开。

从那时以后的若干万年以来，人们一直依靠着摩擦取火来点灯；甚至直到18世纪末叶，人们还用火刀打击燧石取火。发明和使用火柴只是近一二百年来的事儿。

我们的祖先终于能够不依赖自然界而自己来取火了。只有到这时，人类才算初步获得了对热和火的真正支配权，才有可能利用它去发展和提高社会生产力，才有条件去不断发明和改进照明工具，直到制造出形形色色的现代新灯来。

## 从火堆到松明

在科学不发达的远古时代，人们不了解火的本质和由来，而人类跟火的关系又非常密切，于是就把它当作神圣的东西来加以崇拜。

根据我国古代的传说，火是由一位名叫“燧人氏”的圣人发明的。而古希腊人说火是由一个叫做普罗米修斯的神从天上偷来的。他造福于人类，自己却受到残暴的众神之王——宙斯的惩罚。宙斯把他用铁链锁在高加索的山崖上，每天派一只饿鹰啄食他的心肝。但是普罗米修斯坚贞不屈，为人类忍受着苦难。

波斯的祆教是一种拜火教，它把火看成是善良和光明的化身，礼拜圣火是他们主要的宗教仪式。奥林匹克的寺庙里至今还保存着古代的火种，不时有人前往顶礼膜拜。

人类学会用火以后，火的神秘性就慢慢地消失了，但是火同人类生产和生活的关系，却越来越密切。

使用火堆照明持续了几十万年。原始人在野外露宿的时候用它，在洞窟里穴居的时候用它，学会盖房子搬进屋子里以后还用它——他们在屋子中间挖一个不太深的方形坑，叫做火塘，就在火塘里生起火来。

你可以设想一下当时的情景：吃过晚饭以后，一家人围坐在火塘周围的土台上，男人们修理工具，谈论着狩猎、耕种的事儿；女人们紧张忙碌，干着缝补、编织的活计；孩子们嬉耍好奇，贪婪地倾听着大人的谈话。

为了做些夜工，即使是在盛夏酷暑的三伏天，人们也得点起火堆，光着膀子，汗流浹背地在火边忙碌；火堆冒着烟，尽管屋子敞开大门，屋里还是浓烟滚滚，熏得人涕泪交流。这当然是很不舒适的。

许许多多过去，人们从生活经验中得知，燃烧一根木棒有时也能把整个屋子照亮。于是火堆就逐渐被一根点燃着的木棒所代替。这样做有很多好处，既可以减少屋子里的浓烟，又能够大大节省木柴。

点燃木棒也带来新的问题。首先是这根木棒需要竖着放，放得高一点，这样才能把它有限的光芒射开去，让更多的地方照亮。另外还必须把木棒烧着的一头朝下，斜拿着，否则它会熄灭，正像划着的火柴必须头朝下才能更好地燃烧起来一样。

当然，把一根沉重的木棒拿在手中，叫它尽情地燃烧，这总不是个办法。于是，人们又开动脑筋，发明了放置燃烧木棒的架子，解决了用人手拿木棒的问题。

旧的问题解决了，新的问题又冒了出来。木棒只要点着就能燃烧，但并不是同样多的光。含树脂多的木棒燃烧起来比含树脂少的木棒明亮得多，而且点燃时间也长。最适合用来点燃照明的木棒是松木，后来人们就把松木照明称之为“松明”。

松木并非到处都有。怎么办？人们把松木里的“精华”——松脂提取出来，用其他木棒蘸上一点，结果制成了人造松明。人造松明发出的光并不比天然松明差，而且使用更方便。

你知道吗？我国东北的大兴安岭和小兴安岭一带盛产松木，当地居民把松明叫做“明子”；在没有电力照明的边远地区，现在夜晚还往往点着“明子”照亮哩！

如果是晚上出门走夜路，点着的松明就得拿在手里，人们又叫它“火把”。

我国南方没有松明，火把是用干草、枯枝扎成的，上端放在松脂或者脂肪里浸过。另外也可以利用毛竹，毛竹经过溪水漂洗再劈成细条，绑扎在一起就是很好的火把。火把燃烧起来火光熊熊，既明亮，又耐久。

火堆不单用来照明，而且首先是做饭、取暖的热源，一当两用。只有在发明了松明和火把以后，人类才能够骄傲地宣布：我们终于有了与热源分家的专门的照明工具了！

## 灯的诞生

早在使用火堆照明的时代，人们就已经在琢磨着怎样改进照明的方式：一些人发明了松明和火把；另一些人可能在更早以前就想到，可以用更简易的办法来取得亮光。

大概是在烤肉的时候，有人看见动物的油脂滴到火堆上会使火烧得更旺，于是就想：能不能直接利用动物的油脂来点火照明呢？

这个想法很容易变成现实：在石制的浅碗里盛放一些动物油脂，然后用火点着试试。结果怎么样？果然可以燃烧发光。就这样，人类做成了世界上第一盏真正的灯。

最早的灯极其简陋，光有一只盛油的石制灯碗，没有灯芯，点燃时冒着又浓又黑的烟，带来的光亮却非常有限。尽管如此，它与火堆和松明相比，还是最有资格称做灯的，因为它具备了灯的雏形。

考古学家曾在法国的一个洞窟里发掘到一盏这样的灯，它与燧石的刮刀和鹿角的鱼叉混放在一起，碗底上有一层薄薄的黑色的东西，化验证明它是燃烧油脂留下来的灰烬。经鉴定，这是新石器时代的灯，也是直到目前为止我们已知的人类最早使用的灯。

请设想一下当时的情景吧。每当夜幕降临，星星点点的火光便在辽阔无垠的大地上出现：有的地方燃起了火堆；有的地方点亮了松明；还有的地方

是原始的油脂灯在闪光。黯淡的火光在浓重的夜色中吃力地闪烁着、摇曳着，这样的夜景确实是不怎么令人鼓舞的。

再让我们来看看现在的情景。入夜，祖国的城市和农村，社会主义建设的工地上到处灯光闪亮，一片通明，各种各样的灯把黑夜照耀得如同白昼，人欢马叫，机器轰鸣，千百万劳动人民在为建设四个现代化的祖国英勇奋斗。这是何等的壮观，何等的迷人！

同现代灿烂辉煌、绚丽多彩的灯相比，古代那些火堆、松明、原始的油脂灯之类的照明工具，就实在算不得什么了。但是不要忘记，路是人一步一步地走出来的，现代先进的灯，是由过去简陋的灯一点一点地演变而成的。

在较好的灯问世以前，人类不知度过了多少个昏黑的夜！

## 灯芯

原始的油脂灯有什么缺点呢？

缺点不少。其中最主要的一条是冒烟，一点着火就冒出又黑又浓的烟。

你看过电影《屈原》吗？你注意过那里面的灯呢？即使是在楚王豪华的宫殿里，也没有一盏明亮的灯！那一人多高的青铜立灯够阔气了，在上端还分成5枝，构成花瓣的形状，5个灯碗里都烧着油，然而灯光黯淡。在张仪向南后献上隋侯之珠时，两张邪恶的面孔背后，5枝立灯冒着一股股浓烟。后来屈原被关到东皇太庙里，那里的灯光更昏暗，黑烟也更浓烈了。

这样的油灯为什么会冒很多烟呢？

在斜射的阳光里仔细观察一下，马上能揭开烟的秘密。

烟是由许许多多固体微粒悬浮在空气里造成的。有的是一些极微细的小颗粒；有的稍大一些，颗粒后面拖着一条小尾巴；还有的个儿更大，尾巴也更长。就是这些小东西，和火焰同时产生，跟空气结伴而行，迅速飞散，到处舞动，干扰人们的视线，阻碍光线的传播，讨厌极了！

事实上，燃烧生成的烟的成分是挺复杂的，不过主要是一些没有完全燃烧的炭粒和燃烧过后留下的灰烬。

碳是油脂的主要成分，正像氢和氧为什么会冒出很多烟呢？是水的成分一样。碳能燃烧，当点燃油脂的时候，其中的一部分碳同空气中的氧化合，生成二氧化碳，同时发出光和热；另一部分碳找不到氧结合，就游离出来变成炭粒，并随着油面上升的热空气流到处飞舞，成为烟的主要成分。

说到这里我们就明白了，油脂灯冒烟原来是因为油脂燃烧时空气供应不足的缘故。

空气不有的是吗？怎么产生供不应求的现象呢？

地球上的空气确实有的是，这是众所周知的。我们在这里所说的供不应求，主要是指直接与油脂接触的那部分空气。在油脂一遇到火呼啦一下子燃烧起来以后，火焰会把空气从原来的地方挤走，于是在油脂燃烧的周围，就显得空气供应不足。

为了减少冒烟，应该想办法让油脂不是一下子都点着，而是一点一点慢慢地燃烧。这个道理，我们现在看起来很简单，但是在点着原始油脂灯时代的人们，却不明白其中的奥秘；他们只是在实践中朦胧地意识到，灯冒烟同油脂燃得太快有关系，于是尝试着采用不少的办法来克服这个毛病。后来终于发明了灯芯。

开始，灯芯是用小木条或者草本植物的茎晾干以后做成的。南方有一种草叫灯芯草，茎是圆的，挺细，茎里有白瓤，干了以后疏松柔软，是做灯芯的好材料。还有一种龙须草，也能用来做灯芯。

草木灯芯出现以后，人们还用过麻制灯芯和丝制灯芯，但是后者既贵又不好用，终于被淘汰了。

讲到棉制灯芯，恐怕少说也已经有几千年的历史。起初，它是用棉花搓成的细捻子做的；懂得纺线以后，又用好多粮棉线搓在一起做成。这样的灯芯，一直使用到现代。

有了灯芯，油脂灯的点燃情况果然大见好转。油脂沿着灯芯一点一点地上升到火焰里，正像水沿着植物的根茎一点一点地上升到叶和花一样；这样，油脂里的碳就能比较充分地跟氧结合，结果是冒烟大大减少，节省很多油脂，点燃时间既久，灯的火焰也更稳定、明亮。

有的少年朋友可能会问：物体总是由上往下坠落，油脂怎么会沿着灯芯往上升呢？

你可以做一个简单的试验用一根很细的管子插到水里，水会沿着细管子慢慢上升，升到一定高度，停住了，细管子里的水面高出管子外的水面；管子越细，升高越多，就像水被细管子向上吸引一样。这种现象叫做毛细管现象。

现在再来看看我们的灯芯。灯芯是非常疏松的，里面有许许多多的孔隙，这就等于存在着许许多多的毛细管。用火把灯芯点着，灯芯头上的油脂被烧掉了，灯碗里的油脂便会慢慢地源源不绝地往灯芯头上输送，恰如其分地维持着灯的燃烧发光。

## 蜡烛出世

油池是油灯的重要组成部分。没有油池，也就是没有灯碗或灯盏，油放到哪儿去呢？

可是，我们的祖先却偏偏要在这方面进行大胆的革新，干脆革掉了油池。

要知道，液态的油脂是一定要容器盛放的，而固态的油脂却不一定需要。把灯芯同固态的油脂相结合，就产生了一种新的照明工具——蜡烛。

最初，大概是由于动物油脂经常凝固在油池里吧，有人就想：这油脂已经凝固不动了，还装在油池里干什么呢？干脆拿出来不行吗？

人们尝试着把凝固了的油脂从油池里挖了出来，结果一坨油脂裹着一根灯芯——这就是最早的蜡烛。

从此以后，人们就开始有意识地制造这种照明工具了。因为跟油灯相比，蜡烛在携带和使用上要方便得多。

古代人们在一根横起来的木棍上悬挂几十根烛芯，然后把它们一起浸到盛着融化油脂的大锅里。当这些烛芯充分地吸收了油脂以后，马上把烛芯提起；油脂冷却凝固，就在烛芯外面包上一层。再浸一次，再冷却，再包上一层。每浸一次加厚一点。这样反复操作多次，直到烛芯周围凝固的油脂达到足够的厚度，蜡烛便做成了。

后来又发明了更方便的浇注法。也就是先将烛芯放在蜡烛形状的模式里，然后把融化了的油脂浇注进去，冷凝后倒出来，就成了一支蜡烛。模式的材质各种各样，有铁的，有锡的，有竹子的，甚至还有纸的。浇注法制成

的蜡烛，不仅大小一定，而且表面光滑均匀，比浸制烛美观得多。

在《天工开物》一书里，还记载着当时手工制烛的情景。办法是用竹筒作模子，先把竹筒剖成两半，放在水中煮涨，为的是不让油液粘挂在筒壁上，然后取出将两半对好，用小蔑箍勒紧，再用鹰嘴铁勺舀油灌进竹筒，并把烛芯插好，等油冷凝以后，把箍打开，蜡烛就做成了。

蜡烛在我国有悠久的历史。陕西咸阳塔儿坡出土的秦代铜器中，有一对铜烛台，做成一条雁腿的形态，雁足踏在桃形灯座上，雁腿股部托住环形灯盘，灯盘上面有3个灯柱，可以同时点燃3支蜡烛。这就告诉我们，早在距今2200多年以前，蜡烛便已经进入我国人民的生活中。

当然，话还得说回来，古代的蜡烛很贵，一般贫苦百姓买不起，只是在官僚、地主、豪绅的家中才能使用。

不仅汉族，我国少数民族也使用蜡烛。在河北宣化出土的辽墓壁画中，有一个宴饮的场面，画着一支大蜡烛，插在雁足灯台上，灯台放在地面，火焰却达到了侍者的腰部。这就是说，这支蜡烛竟有1米多长！

虽然蜡烛便于携带，但是经不起风吹。为了用于室外照明，应该给它加上一个挡风的设备。

办法很简单，在灯座外面套上一个用细竹丝做骨架的半透明的油纸框，这样就得到了一种我国特有的照明工具——灯笼。有了灯笼，人们在夜间走路就方便多了。

你看见过大灯笼吗？有一本古书叫做《东京梦华录》，那里描述了宋朝时候元宵之夜皇宫里的情景：皇帝坐在宣德楼的正中，楼上垂挂缀着黄边儿的帘子，两边垛楼上各挂一个大灯笼。灯笼的直径有1丈多，里边点着巨大的蜜烛，蜜烛像房屋的椽子那么粗大。

## 油灯小天地

我们已经知道，油灯的构造主要是3部分：灯芯、油池和油。有了这3部分，灯就可以点燃了。

劳动人民有着灵巧的双手，以这3部分为基础，他们制出了许许多多各不相同但又都十分精巧华丽的灯。

我国西汉时期中山靖王刘胜家里有一盏灯叫“长信宫灯”，现在保存在中国历史博物馆里。灯是由铜制成的，高46厘米，通体鎏金。一个跪着的宫女双手捧着灯，宫女的左手握着灯盘的柄，右臂其实就是烟道，烟进入体内，可由头部放出。灯又能转动开合，用来调整灯光。这是一盏极精巧的灯，也是在我国能找到的第一盏装有烟道的灯。它出自距今2000多年以前的劳动人民之手，该是多么令人钦佩啊！难怪中外许多参观者总是围在这件展品的周围，久久不肯离去哩！

刘胜家里的灯，保存到现在的，还有几盏也很精致。比如，有一盏朱雀灯的构思就很奇特：一只张开双翼跃跃欲飞的朱雀，站在带柄的圆灯座上，口里衔着一只环形灯碗，背上骑着一个小人儿。还有一盏铜人灯，由一个娃娃举起右臂，把灯碗托在手里。娃娃单腿跪着，仰脸看着碗底，整个造型刚劲浑厚，娃娃的面部表情也很传神。

到了东汉，枝形灯多起来了。中国历史博物馆里，现在还保存着一盏13枝铜灯。灯的底部是圆形的灯座，灯座中心竖着圆柱形的灯柱，这灯柱就好

比树干；灯柱向四面分出枝叉，好比树干上长着树枝，所以叫做“枝形灯”。这盏枝形灯的灯柱分7层，排列着带有弯曲的枝形柄的灯碗，每层2枝，总共13枝。这灯一点起来，13个灯碗同时放光，一盏灯就顶13盏！

东汉晚期的灯，我们现在还能见到的，大多是陶瓷做的。灯仍然保持“枝形”，但灯上的装饰品更多，做得也更精致华美了。有一盏13枝陶灯，除了必需的灯碗、灯柱、灯座等构造以外，在高85厘米的陶灯上，装饰着各种各样的人、禽、花、鸟、虫、兽等竟达80种之多！还有一盏14枝陶灯，装饰得更为精美：全灯高1米多，灯盘上分层堆塑出开屏的孔雀、奔逐的野兽、驰骋的骑士、乘车出游的贵族等等。

古代的外国人又点什么样的灯呢？

你听说过罗马的古城赫库兰尼姆和庞培，在公元79年，当维苏威火山爆发的时候，被火山的喷出物所覆盖的事情吗？过了1600多年，这两座古城被发掘出来：挖开30多米厚的泥土和火山灰，发现了赫库兰尼姆城；挖开4米厚的同样物质，发现了庞培城。古城保留着原来的样子，城里有房屋、广场、街道和圆形剧场。在房屋内的日用器具里也发现了灯。

这些古代的罗马灯是陶制的，外面用青铜装饰着（我国古代的灯也离不开青铜和陶）。灯的样子很像茶壶，壶肚子就是油池，壶嘴里穿出灯芯，壶把就是灯柄。灯里灌的是植物油。看来，古代的外国人和中国人一样，必须不时地“挑灯”或“拨灯”，将灯芯弄出来，以便让灯继续照亮。

欧洲中世纪的城堡里，能找到和几百年前几乎一样的茶壶灯。这是一般老百姓用的灯。至于阔人们，大多喜欢用枝形挂灯，那是一种具有很多灯芯的大灯，用链条挂在天花板上，每根灯芯下面挂一个小碗，用来承接从灯芯上滴下来的油。

看到这里，你也许会想，“枝形灯”不是我国东汉时期的灯吗？怎么跑到欧洲去了呢？你大概还不知道，茶壶灯虽是欧洲人普遍使用的，但在我国唐代，人们也用过茶壶灯。

1957年，我国新疆巴楚地区挖出了一座唐代的坟墓，在随葬物品中，有一盏铜灯，它比欧洲的茶壶灯多一个壶嘴，可以同时点两根灯芯，壶底还有3个小足。我们就叫它双嘴茶壶灯吧。

在新疆发现这样的灯是不难解释的，因为新疆是古代丝绸之路的必经之地。自从公元前2世纪张骞出使西域以后的1000多年间，我国和帕米尔高原以西各国的友好往来、贸易经商十分频繁，人们从甘肃敦煌出发，经过新疆，分南北两路到达欧洲的罗马（当时称为大秦）。所以，罗马的灯传入我国不足为奇。同样，我们也可以认为，双嘴茶壶灯的茶壶形状来源于罗马，它的双嘴继承了东汉的枝形灯，它的三足吸收了鼎的特点，它是罗马灯和我国灯的“混血儿”。

在文化艺术、科学技术方面，除了“不谋而合”以外，各国人民、各族人民之间的交流，是早在古代就默默地进行着的。

## 闪电的启示

夏天的晚上，也许你正在乘凉，听老人讲故事。突然，乌云密布，风雨交加，电光闪闪，雷声隆隆，马上得回到屋子里去。如果你隔着窗玻璃往空中望去，会看到大自然的种种壮丽景色。

最引人入胜的是一种线状闪电。它是一些非常明亮的白色、粉红色或浅蓝色的亮线，霎时间出现了，好像倒悬在天幕上的枝杈纵横的银花火树。在看到这种大自然的景色的时候，你得到什么启发没有？有没有想到用它来为人类服务？很久很久以前，就有不少科学家在观察闪电的时候，设想把这种“天火”搬到地面上来，驱除随着太阳落山后渐渐来临的黑暗。

这种想法并不能算新奇。雷电曾使人类的祖先惊恐万状，同时也为他们留下了第一堆火。在希腊神话里，就有一位名叫普洛米修斯的神从上帝那里窃取天火，给人类以光和热的故事。据这个故事里说，普洛米修斯因此激怒了上帝，受到了残酷的惩罚。而人类是感谢他的。同样，人们也永远不会忘记那些为了“窃取”雷电的秘密而献身的科学家们。

18世纪中期，人们已经掌握了摩擦起电并把电储存起来的方法。把电通到两只金属小球上，一只带正电，一只带负电，当两只小球接近时，就可以看到明亮的火花，还可以听到“啪、啪”的声响。这是不是微型的闪电和雷响呢？或者反过来问：闪电是否也是电引起的呢？为了验证雷雨时的云层里有没有电存在，大科学家富兰克林做了有名的风筝实验。他在一个雷雨的日子里，把一只大风筝放到天空中。风筝乘风直上，当它钻入云端以后，在风筝线的末端就出现了和带电圆球接近时类似的火花。于是他证实了云层里带电，而闪电是一种大气中的放电现象。

以后人们逐渐明白：闪电是自然界里最强大的火花放电，放电的电压可以达到几千万伏特，电流可以达到几十万安培。我们现在用的40瓦白炽灯泡中，电流只有0.2安培左右，电压只有220伏特，比一比就可以想象到闪电是多么强烈了。我们不禁要为富兰克林的大胆和幸运而惊叹。事实上，此后曾有不少为探索闪电秘密而做实验的科学家，不幸被雷电击死，为科学而献身。

闪电是放电引起的火花，这一点是肯定了。然而，怎样才能在地上获得这样强大的放电呢？

要想得到强的放电，先要有大的电源。19世纪初，人们手头只有电地这一种电源。从一个电池的两端引出两根导线，导线相碰时会产生一个火花；把几个电池串联起来，再引出导线，它们相碰时火花变得更亮了。电池越多，火花越亮。一位英国科学家戴维，用2000个电池串联起来，两端引出导线，连在两根碳条上，碳条之间产生了一条长约10毫米左右明亮得刺眼的电光。这条电光由于空气对流的关系稍向上飘，弯曲成弧形，所以称它为弧光或电弧。这一名字一直用到现在。虽然，我们现在可以把放电限制在笔直的玻璃管里，电光并不弯曲，但是仍按老习惯称为弧光放电。

这样的弧光能否用来驱除黑暗呢？从道理上讲是可以的。但是，要真正把它当灯来用，还有许多实际问题需要解决，还必须付出许多辛勤的劳动。戴维的碳弧只能工作一点点时间，因为电池不能长时间强烈地放电，而当时发电机还没有造出来。放电时电弧的温度太高，能把碳熔化为蒸汽。碳一汽化，碳棒间的距离就增大，弧光就会跳动起来，甚至熄灭，要把它当灯用还要有人不断调节碳棒之间的距离。后来俄国人雅布洛奇可夫把两根碳棒并列起来，当中充填绝缘材料，改进成为可供实用的“电烛”。当一些广场、大街、港口、车站浸没在银灰色的光流之中的时候，从戴维发现弧光放电时算起，人们已等待了六七十年之久。

然而，六七十年在人类历史上只不过是一刹那。人类用火光来照明，和

黑夜作不断的斗争，大约已有几十万年的历史了。

四五十万年前，北京猿人就已经用火来照明和烧煮食物。在北京周口店的山洞里，还有他们留下的灰烬。这种火大概是从自然火灾的余火中取来的。人类的祖先那时还没有向自然界索取的本领，只能等待自然的恩赐。

几万年前，人类学会了钻木取火。把一根木棒插进另一木块的缝里，使劲地旋转木棒，靠摩擦产生的热量使木块燃烧。以后又渐渐发展到用松脂和动物油燃烧来照明。

用石油、石蜡燃烧来照明，制造蜡烛，是我国人民的创造。汉墓中发掘出来的长信宫灯，表现了我国人民的智慧。

明代，我国人民已经能从石油中提炼灯油，制造煤油灯。大约比西方早100多年。不久以后，西方制成了一种比煤油灯亮得多的煤气灯。这种灯通过煤气燃烧，使钍、铈等金属氧化物制成的纱罩炽热发光。人们曾用煤气灯来照亮街道。

人们在发展灯的历史进程中步子越迈越大，并且一步比一步快。但是，始终离不开燃烧和火焰。有人渐渐不满足了。能不能摆脱这种不大听人使唤又容易引起火灾的东西呢？许多人在想着、做着……。

后来，电悄悄地进入了人类生活。从闪电得到启示，在地上制成的电弧光可以用来照明了。当第一批“电烛”在巴黎点起来的时候，人们成群结队地到大街上去，就像去看精彩的魔术表演一样。接着，明亮的电烛在世界各地放光了，那是19世纪末期的事。

任凭人们惊叹也好，欣喜也罢，科学发展的历史依然按自己的规律朝前走，脚步越迈越大。好不容易创造出来的电烛刚用没多久，人们就把它扔到一边了。不是吗？我们现在已经很少见到电弧灯了。事实上，它只盛行了一、二十年的时间，就为白炽灯所淘汰。白炽灯就是我们今天仍在经常使用的普通电灯，它几乎是和弧光灯同时发展着的一种光源，因为戴维在发现电弧后不久，就做过把电通到铂圈里，使铂圈热到白炽而发光的实验。只是发光的时间很短，当时没有引起人们的注意。然而，从时间上看，白炽灯和电弧灯是同时起跑的。

## 光明新纪元

### 蜡烛不落泪了

原来的蜡烛——牛油烛、皮油烛、蜜烛、白蜡烛等等，都有一个通病——好“哭”！

“春蚕到死丝方尽，蜡炬成灰泪始干。”“蜡烛有心还惜别，替人垂泪到天明。”古代诗人这些脍炙人口的诗句，使我们仿佛看到了蜡烛孤独地燃烧着的情景。

长夜沉沉，燃着的蜡烛吃力地颤动着，发出微弱的光，头上是烧焦的烛芯，周身是淋漓的热泪……

要叫蜡烛不落泪，就得时刻操心它，照管它，给它剪掉烛花。

古典小说中经常可以看到“将厅上灯烛剔得明亮”，“拿起烛剪，将烛花剪掉”之类的叙述。

唐代诗人李商隐在给家人的诗《夜雨寄北》中写道：“何当共剪西窗烛，却话巴山夜雨时。”这里说的是作者非常希望早日跟家人团聚，什么时候才能和你在西窗下一起剪着烛花，聊着天，来回忆这巴山夜雨的情景呢！

你看，聊天的时候还不能忘了剪烛花，可见剪烛花已经成了夜间点灯中的日常事务了。

烛花要用剪子剪去，这不仅非常麻烦，而且也不清洁。怎样才能解决这个问题呢？

剪烛花是为了防止蜡烛落泪。而蜡烛之所以落泪，恰恰是因为烛芯做得不好。烛芯不能完全燃烧，越伸越长，慢慢便结成了烛花。烛花使火焰不断扩大，受热熔化的蜡超过了需要，就在蜡烛的四周点点滴滴地淌下来，人们称它为蜡泪。

这就是说，为了不剪烛花，又不叫蜡烛落泪，就得在烛芯身上打主意。

烛芯太粗，消耗油脂过多，不行。烛芯太细，点起来火光不足，也不好。烛芯的粗细首先要选择好。

另外还要在烛芯的编织上下功夫。

过去的烛芯做得很紧，吸不足烛油，老是燃烧灯芯，当然容易生烛花。现在的灯芯用单坯儿的棉线做成，比较松软，能够充分吸收烛油，恰如其分地燃烧，燃烧后的烛芯很坚硬，老是弯曲着，凸出在火焰的最热部分，使烧焦的炭进一步氧化成二氧化碳跑掉，也像油脂一样随着燃烧而消失，而不是越伸越长，结成烛花。

这样一来，蜡烛终于克服了过去的缺点，不再落泪，“蜡炬成灰泪始干”，大概应当改成“蜡炬成灰光始灭”了。

革命烈士肖楚女非常赞美蜡烛的这种“情操”，他曾经说过：“人生应该如蜡烛一样，从顶燃到底，一直都是光明的。一个人从生以后一直到死，都要做对人民有益的正大光明的事，虽然肉体死去，而精神是不灭的。”

蜡烛不落泪，这当然很好。但是还存在着有气味和冒烟的毛病。解决这个问题的办法是在制烛的原料上下功夫。经过多次实践，终于制成了一种新的质量更高的蜡烛——硬脂烛。

过去牛油、羊脂制成的蜡烛都是有气味的，而且颜色也不好。硬脂烛却有着洁净白亮的外表，手摸起来不感到油腻，也很少有气味。

制造硬脂烛的原料是硬脂酸，硬脂酸是包含在动植物油脂里最好、最坚硬的部分。

油脂由甘油和脂肪酸构成。为了从油脂里提取硬脂酸，就必须把甘油从油脂里除去。办法是把油脂放到水和硫酸里煮沸，结果甘油沉到底下，脂肪酸浮到上面，取出脂肪酸放进压榨机，将液态的油酸压滤出去，最后就得到一块块挺硬的蜡状物——硬脂酸。

说到这里我们就明白，硬脂烛虽然和普通的蜡烛一样，是用同一种原料，比如牛油制成的，但是硬脂酸毕竟不是普通的牛油，而是经过彻底净制的牛油了。它消除了不愉快的气味和油腻，而且硬度、色彩、质量都比普通的牛油烛好得多。

硬脂烛点火不冒烟，也不流泪，烛光明亮清爽，很受群众欢迎。

这位蜡烛家族里的“后起之秀”是1831年在法国诞生的，过了不久全欧洲就都建成了硬脂工厂。

蜡烛一直使用到今天。今天的蜡烛生产甚至连硬脂酸也不常用，多半使用石蜡作原料。

石蜡是石油里的成分，是石油加工所得的一种产品，无臭无味，白色或淡黄色的蜡状物。用它制成的蜡烛，质量不比硬脂烛差，可以节约大量的动植物油脂。

制烛的技术也比过去大有进步。

采用机械化操作，石蜡经过熬蜡、浇注、冷却、出模、切芯、修尾等工序，大批大批的蜡烛就诞生了。

## 油灯更亮了

古代的油灯，不管是中国的还是外国的，都爱冒烟——这是个很大的缺点。

油灯为什么会冒烟？过去人们只是在实践中感觉到油灯冒烟同油燃烧得太快有关系。于是他们给油灯装备了灯芯，使油慢慢地燃烧，这样油灯冒烟的情况果然要轻得多。

但是，这没有从根本上解决问题，油灯仍旧在冒烟，只是“没有灯芯拼命冒，有了灯芯慢慢冒”罢了。

这又是为什么呢？

400多年以前，意大利的美术家、自然科学家、工程师和哲学家里昂那多·达·芬奇经常思考这一点——既然烟的主要成分是游离的碳，那么产生烟的原因就仍然是空气供应不足，从而使碳不能完全和氧结合造成的。他看到火炉加上了通风设备——烟囱，可以减少冒烟，就想：为什么不把烟囱借给油灯用用呢？

达·芬奇这样做了。他给油灯安装了一个“烟囱”，“烟囱”把燃烧产生的热空气和废气——水蒸汽和二氧化碳从上方排除出去，而让含有充足氧气的新鲜空气从下面补充进来。这样一来，油灯的点燃情况果然大有好转。

不过，你若认为达·芬奇是世界上第一个给油灯安上“烟囱”的人，那就不确切了。不要忘记，早在2000多年以前，也就是比达·芬奇还早1600多年，我国西汉时期的劳动人民就制出了精美的“长信宫灯”，那才是最早装有烟道的灯呢！只可惜制造这灯的能工巧匠没有留下名字，也没有留下任

何文字来说明他的想法。

人们把油灯的“烟囱”叫做灯罩。

起初，圆筒形的灯罩是用白铁皮做的。因为它不透光，所以还得做一个支架，把铁皮灯罩高高支起来，安置在火焰的上方。

差不多又过了 200 年，法国的一位名叫垦开的药剂师，建议用透明的玻璃罩来代替不透明的铁皮罩。但是他没有想到：既然玻璃灯罩是透明的，那就可以把它往下放一放。直接罩在火焰上，从而取消下面的支架。

又过了 33 年，瑞士人阿尔干德才想到了这一点。他降下了灯罩，取消了支架。

不过，跟着又出现了一个新问题：灯罩直接罩在灯头上，阻止了下面的空气向灯罩里流动，这怎么办呢？

阿尔干德决心向灯头开刀。他用一个圆铁片盖在油池上，叫做顶盖。顶盖比油池口的直径要大，上面钻着许多通空气的小孔；中间有一根竖直的铁皮管，是插灯芯用的；管子上也有许多小孔，空气经过小孔进到灯芯里，再从那里进入火焰的中心。灯罩罩在顶盖上，因为顶盖上有许多小孔，所以空气流动畅通无阻，可以保证往灯头输送进足够数量的新鲜空气。

在这同时，玻璃灯罩也慢慢地改变了原来的长筒形的式样，变成两头小、肚子大的形状。灯罩在靠近火焰的地方显得宽大一些。这样，空气流过这里的时候速度比较慢，火焰就不至于拉得很长。灯罩的上部比较小，不能太粗，太粗会减弱甚至失去“烟囱”的抽气作用。

这就是阿尔干德发明的油灯，时间是公元 1782 年。

灯罩装上了，还需要改进灯芯。

法国人列齐耶经过长期反复的试验研究，得出了扁平的灯芯比圆形的灯芯好的结论，因为扁平的灯芯形成一种扁平的火焰，空气比较容易进到火焰的内部，有利于灯油的完全燃烧。

于是人们就把灯芯织成扁平的带子，并在灯头上安装一个小小的齿轮，用一根轴与灯头外面的旋钮连接。只要捻动旋钮，就能把灯芯随意升高或降低，以达到调节火焰亮度的目的。

欧洲的油灯就是这样逐步地完善起来的。

但是，尽管作了这么多改进，油灯的点燃情况仍然不够理想，它所发出的光并不比一般的蜡烛亮多少。

原因在哪儿呢？原因是燃料不太好——一般的植物油太粘稠，不容易被灯芯吸上去。

现在的问题已经不是空气供应不足，而是燃料输送不及时。

为了解决这个难题，人们采取了多种措施。

有人设法把油池从灯头底下改装到灯头旁边，以加强向灯头输油的能力；有人给油灯安装了一个小小的“油泵”，利用钟表机关开动“油泵”，把油输送到灯头上；有人在油池里放上一个金属环和弹簧，利用弹簧的压力把油压上灯头；等等。

总而言之，一切都是为了叫油快地供给灯芯，让火焰点燃得更亮。

后来，人们起用了新的燃料——石油，特别是在 19 世纪中叶，油灯的油池里普遍地灌上煤油以后，这些困难就迎刃而解了。什么油泵、弹簧之类，统统都可以取消。因为煤油的粘性小，渗透力强，很容易被灯芯所吸收，所以也就用不着那些复杂的送油机构了。

从点一般的动植物油灯到点煤油灯，这在照明技术史上是一个很大的进步。煤油灯继承了它的前辈的优点，而且进一步发扬光大。

煤油灯有了灯罩，一方面保护火苗不被风吹熄，另一方面又起到良好的通风作用。正像没有一支足够长的烟囱，火炉就不能烧好一样，如果把灯罩拿去，煤油灯会马上冒起浓烟，光色黯淡，甚至跳几下就熄灭。

有着良好结构的煤油灯，燃烧比较完全，基本不冒烟，火焰温度高，灯光白亮，受到用户的普遍欢迎。

不应该忘记，新的煤油灯也同历史上的其他发明一样，不是属于哪一个人的，而是不同国家、不同时代许多人的劳动结晶。我们尊敬和钦佩那些为人类赢得更多光明而贡献了自己的聪明才智的发明家，也决不能忘掉千千万万在改进灯的照明上付出了辛勤劳动的无名英雄！

煤油灯传入我国已有 100 多年的历史，到本世纪 20 年代才开始流行。起初只是有钱人家点得起，后来逐渐普及到农村。解放以来，随着我国社会主义建设事业的发展，绝大部分的煤油灯已被电灯所代替，现在我们只有在缺少电力照明的地方才能见到它。

## 走马灯

神灯（又叫走马灯），又称活动图片玩灯，是未进入现代以前令世世代代观众着迷的一种装置，它对儿童有特别的吸引力，至今犹然。这种灯种类繁多，但基本上都是由一套可让光透过的图片组成。这些图片能依次转动，使人看起来好像是画中人物本身在运动一样。可以说，它是电影的最早原型。神灯上的图片可以用手转动，也可以自动旋转（利用从灯中产生的热气流推动灯叶片转动）。图像一般是投影到墙上或布幕上让人观看。但在街头表演时则用便携式箱灯，箱上凿有窥视孔，观众可以从小孔中看到箱内各种活动图片。

公元 1868 年，英国皇家学会副会长 W·B·卡彭特写道，活动图片玩灯亦即神灯是由米切尔·法拉第在公元 1836 年发明的。这说法是错误的，因为约翰·巴特在公元 1634 年所著的《自然和艺术的奥秘》一书中就已描述过这种神灯。而且千真万确的事实是，活动图片玩灯是我国发明的。

据记载，早在公元前 121 年就有人把活动的图像投影在布幕上观赏，那是一个名叫少翁的方士搭起一个降神台，为一个帝王演示神灯。但是早期的另一个神灯为另一位帝王所有，这个帝王死于公元前 207 年。那神灯点亮后，人们可以看到翻滚的巨大的闪闪发光的鳞片。就是这个帝王，他还有一个称为“昭华之琯”（显灵管）的类似神灯。那神灯似乎连着一个小风车或气动叶轮机，因为公元 6 世纪的《西京杂记》卷三中写道：

“玉管长 0.4 米，其中有 26 个孔。如果向里面吹气，你就能看见车马山林，出现在一个屏幕前，一个接着一个，发出辘辘声，停止吹气，则一切消失。”

我们找到的第一个关于神灯的记载大约在公元 180 年前后。那时，发明家丁缓制作了一个“九层博山香炉”，这似乎是一个非常复杂的多层神灯。灯上贴有各种奇鸟怪兽的造形，当灯点着时，鸟兽就围着香炉来回转动。公元 950 年前后，在陶穀发表的著作《清异录》中描写道：

“……点燃一支蜡烛或一盏灯，就可以看到运动着的画面，可以听到了

当声。蜡烛燃尽时，画面和声音都消失。”

到公元 12 世纪，神灯又被称为“走马灯”或“赛马灯”，因为灯一亮，就可见投影到墙上众马奔腾的景象十分逼真。开始到我国旅行的欧洲人，这时才发现这种玩具。一个名叫法瑟·加布里埃尔·德马加尔汗神父的耶稣会传教士保存了公元 17 世纪中叶的一段描述：

“在每个灯会都有无数的灯烛，这些灯烛交相辉映，平静和谐。它制作得精巧迷人，灯光更增添了图画的美。烟雾使灯中人物更有生气，这些人物造型美妙，看起来像在走动、翻转和升降。你会看到马在奔跑、车在行进，还有土地被翻耕、船在航行、王公列成长队进进出出、众多百姓或步行或骑马、军队在行军以及戏剧、舞蹈等等，千姿百态……”

现在教师讲课使用的投影灯（有人还叫它“幻灯片”）就源于我国的神灯。

神灯本身也是从中国流传到欧洲的。我们至今还不了解其中的所有细节。我国古代人民在演示他们的神灯时是否用上了镜片？他们肯定在其他方面大量使用镜片。很可能“有人想到在闭合的箱灯的窥视孔前安装一个或几个镜片”。这可能发生在唐朝（618~907）。人眼对图像连续变动的“视觉滞留感”是电影图像形成的基本依据，所以可能中国人是电影的最初开拓者。

我国的图片可能只画在纸片或云母片上，而且是在闭合的环路中不断旋转，但是它对古代生活的影响肯定是深刻的，正如那位耶稣会神父生动地证实的那样。我们可能认为这种神灯很原始，但是古代我国人民的神灯在当时确实以转动演示的图像显示出电影艺术的光辉。

## 长明灯

我国古代人民对简单的油灯做了尽可能的改进，正如写于公元 300 年的《拾遗记》一书所描述的那样。首先，他们使用了不燃的灯芯：

“燕昭王二年，海员们把油脂带到船上，用很大的壶来装油，献给昭王。昭王坐在通云台上，欣赏着在燃烧着龙脂的灯发出的耀眼的光，光照百里，烟呈红紫色。老百姓看到它，常称它为‘瑞光’，而远远地对它礼拜。这灯用石棉做灯芯。”

根据上述文字，我们无法确定这是公元前 598 年还是公元前 308 年发生的，因有两个叫昭的燕王。无论发生在哪一个年代，它都可以肯定在汉朝或早于汉朝就已经开始用海豹油或鲸油了，并且在沿海地区诸侯的宫廷中也用鲸油和不燃的石棉灯芯。

死于公元 159 年的著名将军梁冀有一件石棉长袍，他常常在宴会上将其扔进火里。用石棉做灯芯意味着不用更换灯芯，只要不断给灯加油，它就可以一直点下去。

然而，古代我国人民并不满足于使用石棉灯芯，他们在发明了经久耐用的灯芯后，又把注意力转到了“油”上，想使它取之不尽，用之不竭。他们的灯是简单的装满了油的盘子或坛子，灯芯从中伸出来。他们还注意到，燃烧的灯芯所产生的热可使油大量地蒸发。为了避免浪费油，他们设计出一个使灯冷却的方法，以此来阻止蒸发。刊印于公元 1190 年的作家陆游的《老学庵笔记》一书，记述了有关这一方法的情况：

“宋文安公集中，有一首关于‘省油灯’的诗。现今汉嘉地区就有省油

灯，这种灯是两层结构的，一端有一小孔，可将冷水注入其中，每晚换一次水。普通灯点燃时火焰很快烧干油，但‘省油灯’不同，它可以省一半油。邵公济牧在汉嘉年间把几盏这样的灯送给朝廷的学者和高级官吏。文安认为，还可以使用露水。汉嘉已生产这种灯 300 余年了。”

这样，下层储油的油罐浸在注入的冷水里，结果节省了一半的油。这种灯从公元 1190 年开始，持续生产达 3 个多世纪，它的大规模生产在公元 10 世纪之前就已形成，也许早在公元 9 世纪就形成了。

“省油灯”通常是釉陶制成的，在重庆博物馆中保存着几个完好的样品。由于在我国直到本世纪中叶之后，那种简单的烛灯仍在使用，也许现在再次介绍一下水冷式“省油灯”对我国的部分农村地区还会有用。

## 大胆的设计

不论是点着篝火还是松明，也不管是燃烧动植物油、煤油、煤气或者乙炔气，这类照明方式都有一个共同的特点——用火。

在当时的人们看来，用火照明似乎已经成了天经地义的事。尽管许多发明家付出了艰辛的劳动，尽管灯的形式有了多么大的改进，但它总是甩不掉两个致命的弱点：污染空气和容易失火。

大家知道，人活着是不能停止呼吸的——吸进氧气，呼出二氧化碳。没有氧气，人就无法生存。

这使我们联想起灯。灯不也在“呼吸”吗？一切用火照明的工具都在“呼吸”：消耗氧气，产生二氧化碳。没有氧气，就谈不上燃烧发光。

你也许很想知道灯的“呼吸量”究竟有多大。这么说吧：能发出 25 支烛光的煤油灯，一个晚上大约要消耗 25 公斤新鲜空气；而在相同的时间里，一个人却只要呼吸 3 公斤新鲜空气就够了。你看，一盏灯要顶 8 个人的氧气消耗量哩！如果许多人围着煤油灯聚会，屋子里通风不良，时间长了，人会感到气闷，再呆下去，甚至有可能头痛窒息。这就是由于屋子里的氧气消耗太快，而二氧化碳的含量越来越多的缘故。

至于用火照明容易失火，那是非常清楚的。我们只要看看在地震危险区消防大队发出的通告就行了，那上面写着：“在防震棚中严禁用明火（各种油灯、电石灯、蜡烛等等）照明”。为什么？就是为了防火！地震一来，震倒油灯或烛台，很容易酿成火灾。

据说有这么一件事：有一次，牛顿的一头爱犬，无意中扑翻了桌子上的蜡烛，竟把这位英国大科学家 20 年中积累起来的文稿统统烧掉了！

既然用火照明有这样两个难以避免的缺点，那我们能不能干脆把火甩开呢？要知道，火就是物体燃烧时发出的光和热，火和光从来都是结伴而行的，不用火也能取光吗？

这可真是一个大胆的设计。这个设想早在 100 多年以前就有人提出来了。

## 光明的使者

电灯——光明的使者，是美国科学家爱迪生发明的。在它来到人间以前，人类为追求光明，已经作出了很多努力。

最早，人类不知道用火，当然也没有灯。后来人们学会钻木和燧石取火，将松枝草把点燃照明，便是火炬。当人们学会使用动植物油后，把油盛放在容器内点燃，就成为油灯，这大约是人类最早使用的“灯”了。到19世纪，人们开采石油后，出现了煤油灯，上面有一个玻璃灯罩，可发出白亮的光，这种煤油灯，直到本世纪的60年代，我国不少地方仍在用。19世纪中叶，还出现过煤气灯……

电的发明使人类对光明的追求，跃上了一个新的台阶。在此之前，光明总是同“火”联系在一起的。

1808年，英国科学家戴维在用碳棒做电流的热效应实验时，无意中把两根碳棒碰了一下，谁知就在碳棒尖端相互离开的一瞬间，一道极强的白光闪亮起来，犹如夜空中的闪电。这使戴维兴奋起来，他反复试验下去，制成了电弧灯，也被人称为“电烛”。

电烛诞生后不久就风靡欧美。1883年，我国上海也曾用它来做外滩的照明灯。可人们随之就发现了电烛的缺点：光线太强、耗电太多、寿命太短。所以，大约到19世纪末，电烛就退出了照明舞台。

也许这样说有欠公正，因为在事隔半个世纪之后，电弧灯还曾有过一次辉煌的亮相。

那是在1945年4月16日的凌晨，柏林外围的奥德河沿岸异乎寻常的寂静，在这种可怕的寂静后面正酝酿着一场大战：德军在这一带集结了100万兵力，有10400门大炮、1500辆坦克、3300架飞机，苏军部署的兵力更多。大家都意识到这是决定最后命运的一仗了。

凌晨5点整，夜空中升起了信号弹，随即寂静被巨力的爆炸声响所取代，苏军的大炮、火箭炮突然吼叫起来，轰炸机把成串的炸弹扔到德军阵地上。5点30分，苏军步兵在坦克的掩护下发起了冲锋。德军纷纷从掩蔽洞里跑出来，进入战壕准备抵抗。突然，从苏军背后发出了一片眩目的白光，刺得德军眼睛也睁不开，根本无法进行有效的抵抗。就这样，苏军以较小的代价取得了胜利。这白光便是140架电弧探照灯耗电1000多亿度后产生的，在这场战役中，起到了预计的惊吓和压制敌人的作用。

继电弧灯之后，登上舞台的就是电灯了。先是戴维发现，很细的白金丝通上电流，会发出极微弱的光来。过去，白金丝在空气中很快就烧掉了。但这一点微弱的光亮，却使爱迪生看到了前进的方向：让电流通过某种导体，使它温度达到白炽，不就能够照明了吗。

白炽电灯的设想吸引住了爱迪生，他在考查了大量的资料以后，找到了进行研究的正确方向：要想制造出白炽电灯，关键在于找到一种电阻不大，而又耐高温的导体材料做灯丝。于是，他用纸条烧成的炭丝做实验。亮了，但很快又熄灭了——这是炭丝和空气中的氧气起了化学反应的缘故。爱迪生决定从改进灯丝和把玻璃泡抽成真空这两个方面入手。

爱迪生把炭化纸条小心地放进灯泡里去，再用抽气机小心谨慎地抽出灯泡里的空气，然后把抽气口密封好，接通电流。“亮啦！”伙伴们喊了起来，可这盏希望之灯只亮了8分钟，最后灯丝还是断裂熄灭了。看来，毛病主要还是在灯丝上。究竟用什么来做灯丝呢？爱迪生绞尽脑汁，前前后后竟试验了1600多种矿物和金属的耐热导电材料，结果全失败了！

一天，他坐在椅子上考虑下一步该用什么材料来试验，随手拿起桌上一卷棉纱玩弄着。突然，他脑子里闪过一个念头：是否用棉线烧出的炭丝当灯

丝试试看。爱迪生把棉线用特制的镍制模具夹住，放到高温炉里，加工成了一根炭丝。谁知这炭丝太脆弱了，刚一拿就断了。“断了再烧！”一直干到第3天，才将第4根炭丝顺利地装进灯泡里去，并用精密的抽气机抽出了里面的空气。

1879年10月21日，这盏灯通电了。“亮啦，亮啦！”爱迪生和他的伙伴们沉浸在欢乐之中：“我们坐在那里留神看着那盏灯继续点燃着，它点燃的时间越长，我们越觉得神驰魂迷。我们中间没有一个人走出去睡觉——共有40小时的工夫，我们中间的每个人都没有睡觉。我们坐着，洋洋自得地注视着那盏灯。它持续点了约45小时的工夫。”

世界上第一盏白炽电灯就这样诞生了，但爱迪生并不满足于这成就，他开始寻找更耐用的灯丝材料。他先后试用了6000多种植物纤维，就连他的朋友的红胡须也成了他的试验材料。后来在1880年春天，他成功地用竹丝烧成的炭丝作为灯丝，使白炽电灯亮的时间延长到1200小时，这是第一只可以实用的白炽电灯。

1882年，爱迪生在纽约建立了第一个发电站。从此，光明的使者来到了人间，人们在一片光明中，开始了新的生活。

竹丝灯在社会上用了好多年。以后，爱迪生又用化学纤维来代替竹丝，灯泡质量又有了提高。到1906年，才改用钨丝来做灯丝，我们现在用的就是这种灯泡。

## 白炽灯照亮了历史

白炽灯的光辉越来越深入人心，这首先威胁到煤气公司老板的利润。当时纽约的《先锋报》刊载了一段来自英国伦敦的电文：“由于爱迪生先生宣布了电灯分路的发明，本市煤气股票价格一落千丈。仅数日之内，就狂跌了12%。”

煤气公司的经理和股东是不会甘心自己的生意亏本的。他们一方面反对和阻挠白炽灯的推广应用，另一方面又网罗人才来改进煤气灯，以便与电灯相抗衡。

白炽灯泡里的炭丝发出明亮的光，是因为电把炭丝加热到白炽化了。那么，如果用煤气的火焰来烧炼一种物质，也使它灼热到白炽化，不同样可以获得一种强烈的光源吗？

这个想法有道理。1885年，有一位德国化学家阿吴爱尔，果然发明了一种新式的煤气灯，这种新灯的特点是在原来煤气灯的灯头上加了一个纱罩。这一加可不简单，一下子就把煤气灯的亮度增强了好几倍！

纱罩的外貌一点也不特殊，是一种木棉或绢丝制的网，先放在由99份硝酸钽和1份硝酸铈组成的溶液里浸过。煤气从煤气管道输送到喷嘴，点着后在纱罩里燃烧，产生的高温把硝酸钽和硝酸铈分解成氧化钽和氧化铈。在高温下，这类难熔的金属氧化物烧到白炽化，结果就发出了明亮程度胜过炽热炭丝的白光。

现在还有没有这种带纱罩的灯呢？有的。在没有电照明的地方，晚上搞大型活动的时候，有时还可以看到这种灯，不过它已经不是当年烧煤气的煤气灯，而是以煤油作燃料的汽油灯了。

有的少年朋友也许见过汽油灯。汽油灯的纱罩是从煤气灯那里移植过来

的，现在一般都用石棉网。灯上有打气管子，打进空气，把煤油从一组小孔中压出来，喷成雾状小滴，化为蒸汽，跟空气均匀混合以后再燃烧。这样的燃烧当然是非常完全的，温度很高，足以把纱罩烧得炽热发光。

白炽的汽油灯是很亮的，两盏汽油灯能把一个大型舞台照得通明，几十米甚至上百米以外的观众都能把舞台上的场景看得一清二楚。

当带有纱罩的煤气灯处于优势的时候，研究白炽灯的人也没有睡大觉，他们想：钨、铼等一类难熔金属的氧化物能耐高温，比炭丝结实得多，发出来的光又极其明亮，那我们为什么不用难熔金属的细丝来做灯丝呢？

事实上，早在炭丝白炽灯诞生以前，人们就试用过多种难熔金属来作灯丝了。爱迪生也曾用白金丝作过灯丝，点亮了 8 分钟到 2 个小时。除了白金和铼之外，他还试过钽、钇、钛、钼、铈、锆等等，都不如白金丝好。由于当时抽气的真空度不高，金属的熔点又偏低，时间一久，灯丝便烧毁，所以没有取得成功。

再说，即使灯丝的寿命够长了，白金的价格太贵，成本太高，用户也买不起呀。

1898 年，有人试用钨作灯丝，缺点是不太结实。1905 年，有人制成了钨和钽丝灯，结果也不怎么令人满意。

20 世纪进入第 9 个年头，美国人柯里奇第一个发明了用钨丝作灯丝的白炽灯，这是电照明技术发展史上的一个大事件。

在各种所谓难熔的金属里，钨得数老大，它的熔点高达 3400 左右，比任何一种金属元素的熔点都高。跟钨相比，一些常见的金属，比如铅、锌、铝、铜等有色金属和钢铁等一类黑色金属的耐高温本领就差得远了。

钨的比重跟黄金差不多，但是非常坚硬，要把它拉成细丝很不容易。经过多次改进，现在人们是用最硬的金刚石作拉丝模，使直径等于 1 毫米的钨丝，通过 20 多个逐渐小下来的细孔，才拉成直径只有几分之一毫米的灯丝的。

说来你也许不信，1000 克重的钨锭，拉成只有头发丝的几十分之一粗细的钨丝，长度竟可达三四百公里！

确实，如果单就抗热本领来说，非金属碳的熔点比钨还高，可达 3600。但是，要知道，作为灯丝材料，光熔点高还不行，还得看看它在高温下的“表现”。

比方说，把炭丝烧得太热，它很容易变成蒸汽，蒸发量比钨厉害得多。蒸发的结果，不仅使灯丝变细，寿命缩短，而且蒸发出来的材料沉积到灯泡上，会使灯的发光效率降低。

所以说，虽然钨的熔点比碳要低，但是它的蒸发量小，实际允许的工作温度反而比碳高，而且容易加工成型。灯丝的工作温度越高，它的发光亮度越强。

自从钨丝引进白炽灯以后，白炽灯同煤油灯、煤气灯、汽油灯以及其他各种灯的竞争才取得了决定性的胜利。钨丝的应用有力地促进了电照明工业的发展。甚至可以说，正是这位抗高温的能手，开辟了电照明技术的新纪元。

电灯，要开就开，要关就关，非常方便。点亮电灯不用火柴，不生火苗，不会冒烟，光亮洁白，安全舒适，给用户带来了无比的兴奋和欢乐。

电灯，作为新生的光源，光明的使者，开始展开它那强劲的双翼，迅速飞向全世界。

## 钨灯家族

### 敌人和朋友

这是一只普通的白炽灯，主要由玻壳、灯丝、导线、感柱、灯头等组成。

玻壳做成圆球形，制作材料是耐热玻璃，它把灯丝和空气隔离，既能透光，又起保护作用。白炽灯工作的时候，玻壳的温度最高可达 100 左右。

灯丝是用比头发丝还细得多的钨丝，做成螺旋形。看起来灯丝很短，其实把这种极细的螺旋形的钨丝拉成一条直线，这条直线竟有 1 米多长。

两条导线表面上很简单，实际上由内导线、杜美丝和外导线三部分组成。内导线用来导电和固定灯丝，用铜丝或镀镍铁丝制做；中间一段很短的红色金属丝叫杜美丝，要求它同玻璃密切结合而不漏气；外导线是铜丝，任务就是连接灯头用以通电。

一个喇叭形的玻璃零件就是感柱，它连着玻壳，起着固定金属部件的作用。其中的排气管用来把玻壳里的空气抽走，然后将下端烧焊密封，灯就不漏气了。

灯头是连接灯座和接通电源的金属件，用焊泥把它同玻壳粘结在一起。

这里特别需要讲讲灯丝，因为电灯正是要靠它来发光的。

同炭丝一样，白炽灯里的钨丝也害怕空气。如果玻壳里充满空气，那么通电以后，钨丝温度升高到 2000 以上，空气就会对它毫不留情地发动袭击，使它很快被烧断，同时生成一种黄白色的三氧化钨，附着在玻壳内壁和灯内部件上。

要是玻壳里残留的空气比较少，那么上面讲的过程就会进行得慢一些，钨跟空气中的氧化合生成一薄层蓝色的三氧化二钨和氧化钨的混合物。

这些都是空气玩的把戏——空气里的氧气使高温的钨丝氧化了。

所以钨丝灯泡要抽成真空，把空气统统清除出去。

有时怕抽气机抽不干净，还要在灯泡的感柱上涂一点红磷。红磷受热会变成白磷，白磷很容易同氧气反应，生成固态的五氧化二磷，把氧气“吃掉”，这样，玻壳里残留的氧气也被消除了。

但是，这样做还没有解决全部问题。白炽灯用久了玻壳会变黑，再过一段时间会烧断，你知道这是为什么？

确实，钨丝比起炭丝来，在真空里的蒸发速度要慢得多。但是，当白炽灯点亮温度升得很高的时候，钨的蒸发仍然十分严重。

长时间的高温使钨丝表面的钨原子像水蒸汽一样不断地蒸发扩散，然后一层又一层地沉积到玻壳的内表面上，使玻壳慢慢黑化，越来越不透明。

钨的蒸发也使钨丝越来越细，最后烧断。

灯丝工作温度越高，钨的蒸发越快，白炽灯的使用寿命就越短。

有没有办法使灯丝在真空条件下减少蒸发和延长使用寿命呢？

办法只有降低温度，降低灯丝温度可以达到延年益寿的目的。钨丝工作温度高达 2700 时，灯泡点亮不到 1 个小时就熄灭，钨丝工作温度下降到 1700，使用寿命可以延长到 1000 个小时以上。

可是，这并不是个好办法。降低钨丝的工作温度，也就是降低它的白炽程度，会使白炽灯的发光效率降低，远不如温度高时那么明亮。

于是，问题就这样明明白白地摆在了人们的面前：要想白炽灯更多地发

光，就得提高灯丝的工作温度；要想减少钨丝的蒸发以延长灯的寿命，又得降低它的一体温”。这是矛盾的。

我们的要求是既有高的发光效率，又能减少钨丝蒸发。

经过多年的研究，人们注意到，当灯泡里充有空气的时候，虽然灯丝很快会被氧化，但是钨的蒸发却变慢了。

原因其实很简单：空气是由多种成分组成的，使钨氧化的只是占空气总量  $1/5$  的氧气；至于其余的大约占  $4/5$  的氮气，它不仅没有参与对钨的破坏作用，相反地还干了好事——阻碍钨分子的运动，降低钨的蒸发速度。

人们于是给钨丝找到了一位保卫它的好朋友——氮气。氮气就在空气里，而且占了空气的大多数，真可谓“踏破铁鞋无觅处，得来全不费工夫”。

过去我们为了保证白炽灯延年益寿，不得不把玻壳中的空气抽走，抽得越干净越好，而现在为了同样的目的，我们却要做相反的工作，即把气体——当然是不会跟钨发生化学反应的气体充到玻壳里去。

氮气是个懒惰的家伙，好自个儿东游西逛，跟谁也不爱打交道。它在很多地方派不上用场，可在白炽灯里却可一显身手。

如果灯泡里是真空的，那么当钨丝接通电源，温度升高后，钨的分子就会“蠢蠢欲动”，大量地脱离灯丝，“如入无人之境”，到处乱跑，直到碰到玻壳壁上被吸着时为止。

玻壳里一旦充进了氮气，白炽的灯丝周围就会形成一薄层稳定的气体保护层，就像一道活的“篱笆”。每一个氮气分子都是一名勇敢的战士，守卫在钨丝的附近，对那些企图脱离集体四处乱窜的钨分子毫不客气，狠狠地顶撞回去，叫它们重返工作岗位，继续为光明服务。这样一来，钨丝的蒸发速度就慢得多了。

结果是出现了充氮气的白炽灯泡。

1913年，兰米尔首次往玻壳里充进氮气，这是继灯丝由炭丝改钨丝后白炽灯的又一重要革新。直到目前为止，充气仍然是抑制钨丝蒸发的基本措施。

不过，有一点要注意，因为氧气或水蒸汽都会在钨丝工作时跟它起氧化反应，所以对充气的含氧量和含水量都有极严格的要求，不然的话，灯泡的寿命就会大大地缩短。

充气使钨丝的蒸发速度变慢，同样的使用期限可以使灯丝在更高的温度下工作，所以充气灯泡的发光效率比真空灯泡要高。一般来说，充气灯泡的发光效率要比真空灯泡高出  $1/3$  以上。

## 惰性气体

充气灯泡，既可以避免钨丝氧化，又能够阻止它的蒸发，好处是很明显的。

不过与真空灯泡相比，充气也带来了新的问题，即对流的气体会把更多的热量传递给玻壳，并通过玻壳散失到周围的空间，结果是增加了热的损失，降低了发光效率。

这又是一个矛盾。

要看什么是矛盾的主要方面：如果钨丝的蒸发是主要的，热损失不是很多，那么通过充气抑制钨丝蒸发，很好地提高发光效率，充气就是有利的；反过来，如果矛盾的主要方面是热损失，蒸发问题不大，那么充气后发光效

率提高不多，热损失却增加不少，充气就弊多利少。

一般来说，功率比较小的白炽灯，灯丝细长，热损失很大，充气虽然可以减少钨丝的蒸发和提高它的工作温度，但是这部分发光效率提高的“收入”弥补不了充气后热损失增加的“支出”。对于这样的灯泡，充气就不一定有利。

在我国，25瓦以上的白炽灯泡都充气。

充气灯泡里充多少气合适，是有规律的。

充气越多，玻壳里的气体密度越大，压力越高，抑制钨丝蒸发的效果就越明显。但充气太多会增加热的损失，玻壳就必须做得十分结实以防爆裂。

一般灯泡的充气压力，都在一个大气压左右。

除了讲究充气的数量，还要考虑充什么气。

氮气以及惰性气体氦、氖、氩、氙、氪等等，都可以用来充进灯泡里。

从道理上讲，充气的目的既然是用来抑制钨丝蒸发，那当然应该选择那些身材比较“魁梧”，体重比较重，也即分子量比较大的气体。

比方说，氦是最轻的惰性气体，用来充填白炽灯泡就不太适宜。氦比氩要重，氖、氩又重于氦。同样的灯丝，同样的温度，在氮气中的蒸发率只有在真空中蒸发率的2%~5%。充填氩气的效果将更好，钨的蒸发率可降低到只有真空中蒸发率的1.3%~3%。第一只充氩灯泡是1920年问世的。

氩是空气中含量最多的惰性气体，也是大气成分中仅次于氮、氧的第三号“人物”，每100升空气中就含有934毫升氩，加上它不易传热，所以常同氮气一起被用作灯泡充气。在一般的充气灯泡里，都充90%的氩气和10%的氮气，或者86%的氩气和14%的氮气。

为什么不充氪、氙等一类分子量更大的惰性气体呢？用它们充气不是可以获得更好的效果吗？

确实如此。氪、氙一类的惰性气体不仅分子量大，传热本领也差。把它们充进玻壳里，既对钨丝蒸发有更强的抑制作用，造成的热损失也小得多。这样的充气灯泡，工作温度可以提得更高，灯更明亮，发光效率比充氩、氮的灯泡高约30%，而灯泡的寿命并不缩短。

问题是，氪、氙之类气体是大气中含量最少的稀有气体，只有氩的含量的万分之一和十万分之一，所以制取困难，身价高昂，十分难得，只有在特殊需要的情况下，比如在制做某些矿灯的时候才使用。

为了提高白炽灯的发光效率，延长灯的使用寿命，人们还在灯丝的成分和结构上下功夫。

钨丝虽然能耐高温，但在高温下会变得很脆。发明家们于是请铼来帮忙，因为铼不仅熔点高，耐腐蚀，而且机械性能好，电阻率也比钨高得多。钨丝镀上铼以后，强度和电阻大大增加，寿命可以延长5倍。

要使通电后的灯丝获得足够高的发光温度，细细的灯丝必须做得很长，可是长长的灯丝灯泡里又放不下，于是发明家们把它做成螺旋形。大家知道湿衣服晾开要比团在一起容易干得多，也就是水气的蒸发要快得多。同样的道理，人们把灯丝做成螺旋形，一方面可以缩小所占空间，提高发光效率，另一方面又能降低钨的蒸发，延长使用期限，真是一举两得。

1936年，人们还做成了双螺旋灯丝，这样效果就更好，充气白炽灯的工作温度提高到2500以上，摄影用的白炽灯甚至达到了3000。

通过充进惰性气体和改进灯丝结构，白炽灯的蒸发速度进一步降低，发

光效率进一步提高，它也变得更加成熟了。

### 卤素的作用

玻壳里充进了惰性气体，装上了性质均匀的双螺旋灯丝，白炽灯的发光情况比以前好多了，特别是使用寿命长了许多。

但是还不够理想。

一方面，惰性气体的保护作用随着充填气体压力的增加而加强，为此要求玻壳的体积越小越好；另一方面，为了使蒸发的钨不致把玻壳很快变黑，又要求玻壳尽可能做得大一些。这就又是一个矛盾。

再说，以上一系列的努力只不过是使钨丝的蒸发速度有所减慢。钨丝仍在蒸发着，而且逃脱不了这样的规律：温度越高，蒸发越快。钨粉落在玻壳内壁上，时间一长，玻壳变黑，钨丝白炽灯的寿命一般只有 1000 小时左右。

原因在于惰性气体分子对于蒸发的钨原子只起狙击的作用。狙击不可能万无一失，漏网的钨原子会通过惰性气体分子之间的空隙，溜到玻壳壁上去，而一旦钨原子来到玻壳壁上，赖着不走，惰性气体分子对它们也就无能为力了。

怎么办呢？能不能找到一种物质，它们既能抑制钨丝蒸发，又能在钨原子溜到玻壳壁以后，跑过去把“逃兵”抓住并送回到钨丝上去呢？

很多人都在琢磨这个问题，设法为钨丝找到一位“新朋友”。直到 1959 年，一位名叫弗里德里奇的美国人，才终于找到几位能够担当这一任务的“搬运工”，它们就是卤族元素及其化合物。

卤族元素简称卤素，包括氟、氯、溴、碘等几个成员。它们在一定的温度条件下，能够同钨化合，生成氟化钨、氯化钨、溴化钨、碘化钨，统称卤化钨，而在更高的温度下，它们又会顺利地分解成钨和卤素，恢复本来的面目。

这个特点具有根本的意义。

你看，人们往玻壳里充进一点卤素，接通电源以后，灯丝发热放光，同时开始蒸发。蒸发出来的钨，大部分被惰性气体顶撞回去，还有一部分向玻壳壁运动，并在温度逐渐降低的情况下与卤素结合，生成卤化钨气体。卤化钨气体反过来又向灯丝方向扩散，大约在距灯丝只有几毫米远的地方，又因高温而分解成钨和卤素，分解出来的钨可以重新沉积到灯丝上的，卤素则返回玻壳内壁附近去参加下一次反应。

热心的卤素这样来来回回地奔忙，像是一个勤奋的“搬运工”，把从钨丝上蒸发出来并溜到玻壳壁上的钨原子，一个个地重新搬回到钨丝身上去。它也像一位尽心尽职的“保姆”，总是不厌其烦地把走离了家的“孩子”送回家去。

钨和卤素的这种反应是循环重复地进行的，所以被叫做循环反应。钨和卤素在不断进行的循环反应中化合而又分解，消失而又再生，所以又叫再生循环反应。

这样看来，卤素所做的工作确实要比惰性气体有效得多。惰性气体对钨原子只是采取阻拦战术，阻拦不住只好听之任之，毫无办法。卤素实行的却是积极进取，主动争夺，要是漏网的钨原子跑到玻壳壁上，它们会赶上去把“逃跑者”“揪回原籍”。

既然卤素能把蒸发的钨原子仍旧送回到钨丝上，那么钨丝的工作寿命不就可以无限地延长了吗？实际情况并不这么简单。

卤族元素的 4 个成员，都能在钨丝灯泡里进行再生循环，它们之间的主要差别，只是发生循环反应所需的温度不同，与灯内其他零件和杂质发生化学反应的活泼程度也不一样。

在碘、溴、氯与钨的再生循环中，从玻壳壁上被送回来的“再生钨”可不是一下子就沉积到灯丝上的，而是先在灯丝附近徘徊，然后才寻找合适的安身之所的。如果灯丝各部分的温度不尽相同，那么钨在温度高的地方蒸发得快，而在温度低的地方沉积得多，于是钨就会慢慢地“搬家”，不断地从温度高的地方搬迁到温度低的地方。

事实上，灯丝不管做得如何均一，总还是有的地方粗一点，有的地方细一点的。电灯点亮以后，灯丝比较粗的地方，电阻比较小，发热比较少，温度比较低；而灯丝比较细的部位，电阻比较大，发热比较多，温度比较高，钨在这里蒸发离去的多，沉积回来的少，如此久而久之，细的部位将会越来越细，灯丝最后就在这里断成两截。

由此可见，灯丝上的高温热点是它的致命伤，灯丝通常都是在这样的点位损坏的。

只有氟是例外。

在氟钨循环里，氟化钨在 3000 以上才分解，比普通灯丝工作温度还高。因此，氟化钨里的钨，总是分解沉积到灯丝上温度比较高的地方；哪里在高温热点，它就到那里去分解沉积。这样，氟钨循环既防止了在灯丝上出现高温热点，也消除了钨原子沿灯丝的迁移现象。从理论上来说，这种灯的灯丝的工作温度可以接近钨的熔点，并能获得无限长的使用期限，成为名副其实的“长命灯”。

可是，氟钨灯又带来了一个新的问题；氟的个性过于活泼，爱跟各种元素打交道，对于灯里的许多零件，及至玻璃泡壳都有强烈的腐蚀作用，至今还没有找到合适的解决办法。因为这个缘故，充氟灯泡直到现在仍处于试验研究阶段，没有得到实际应用。

卤钨循环原理其实早在 107 年前就被发现了，往白炽灯里充进卤素的设想也在本世纪初就有人提出，可为什么第一只卤钨灯直到 50 年代末才姗姗到来呢？

关键是材料和工艺方面的问题。卤素是化学性质极活泼的元素，对灯内的金属零件有强烈的腐蚀作用，容易造成导线支架的过早损坏。另外，当时用作玻壳的都是普通玻璃，体积很大，灯泡点亮时玻壳的表面温度只能达到 100~150℃，这样的低温不足以促成卤素和钨的化合，而且钨的卤化物一定要在温度超过 250℃ 时才挥发，可当时用作玻壳的普通玻璃根本经受不了这样的高温。直到 50 年代初，对解决这个问题也没有取得明显的进展。

有意思的是，在应用卤钨循环原理方面首先取得突破性进展的，不是白炽灯，而是在航天技术的红外辐射器中。

1954 年，美国通用电器公司为宇宙航行进行模拟试验，制成了一批管形石英红外线加热器，它用钨丝作红外线发射源，试验要求在短时间内每平方米的辐射功率达到数万千瓦。开始试验时，由于钨丝工作温度很高，使石英管很快变黑。后来在辐射器里放进少量的纯碘，钨丝工作温度即使达到 2700

以上，石英管仍能保持剔透明亮。这一突破性进展看来似属偶然，实际上

是在卤钨循环原理研究，以及石英玻璃制作、封装工艺等问题基本解决的基础上取得的。

这一成功直接推动了卤钨灯的研制工作，使电光源工作者深受启发，他们抛弃了球形玻壳的传统观念，采用直径只有 10~12 毫米的管形玻壳。电灯工作时玻壳温度很高，但是耐高温的石英玻璃、高硅氧玻璃承受得了。过去人们总以为改进制灯工艺的方向是使灯泡里的气体纯净更纯净，免得发生会使照明设备遭到破坏的化学反应，而现在却要往玻壳里充进卤素，故意制造卤钨循环反应，并利用它们来提高白炽灯的发光效率和延长使用寿命。

就这样，第一只卤钨灯在 1959 年问世了。卤钨灯的问世使白炽灯的工作原理和设计思想发生了革命性的变化，揭开了白炽灯发展史上崭新的一页。

## 卤钨灯

热心的卤素加入了保卫钨丝的行列，它们不知疲倦地忙碌奔波，为改进白炽灯献身尽力。

到目前为止，在理论和实践上应用卤钨循环原理比较成功的是碘钨灯和溴钨灯。

最早问世的卤钨灯是用碘作循环剂的碘钨灯。这是因为在 4 个卤族元素里，碘的性质最不活泼，不像其他几种卤素那样有强烈的腐蚀作用。

待灯泡里充进纯碘、玻壳壁的温度控制在 250~1200 之间，从灯丝上蒸发出来的钨就会在玻壳壁附近与碘化合成碘化钨。随着气体的对流，碘化钨将扩散到灯丝附近，由于这里的温度可以高到 2000 以上，不太稳定的碘化钨就会在这里分解成碘和钨，钨重新回到灯丝上继续工作，碘则再次向玻壳方向扩散去完成新的“搬运”钨的任务。

同普通白炽灯相比，碘钨灯大大减少了钨的蒸发量，延长了使用寿命，提高了工作温度和发光效率。普通白炽灯的平均使用寿命是 1000 个小时，碘钨灯要比它长一半，发光效率提高 30%。

从个子来看，碘钨灯显得特别小巧玲珑，同样一只 500 瓦的灯泡，碘钨灯的体积只有白炽灯的 1%。它的玻壳里除了有碘，还充进了惰性气体，又小又结实，充气压力高达 1.5~10 个大气压。

根据用途的不同，碘钨灯可分好几种。

有的碘钨灯能发出大量看不见的红外线，热效率高，是加热干燥用的理想热源。

有的碘钨灯功率大，可辐射出大量的光能，用作大型车间、广场、体育场、机场、港口等处的照明很合适。

有的碘钨灯是新闻摄影、彩色照相制版，以及电影摄影、放映的光源，功率高、体积小、重量轻是它的主要优点。在一部分激光装置中，碘钨灯还可用做光泵。

碘钨灯的光效高、亮度大、结构紧凑，这些正是交通车辆照明求之不得的长处。现在火车特别是汽车上的聚光灯、雾灯、主前灯等，正在逐步改用碘钨灯。

最常见的碘钨灯，有着像钢笔一样的细长身材。灯的主体是一根直径 10~12 毫米的石英管，软化点高达 1700 。灯丝上每隔一定距离用一个支撑圈托着灯丝，灯两端的长方形扁块是封接部分，用来保证既能导电，又不漏

气。

碘钨灯也有不足之处。

碘蒸汽是紫红色的，它多少会对碘钨灯的亮度和发光效率产生一定的影响。碘钨灯工作时玻壳里有气体对流，个别地点的温度有可能下降到不足以维持碘钨循环反应进行的程度，结果使玻壳的局部发黑。还有，水平放置的管形碘钨灯必须用溴代替碘放得很平，倾斜度不得超过 4 度，否则就会影响灯的寿命。溴钨灯可以在相当程度上克服这些缺点。

溴钨循环与碘钨循环相似，只是溴的化学性质比碘更活泼，是比碘更勤快的“搬运工”。溴钨灯里充溴的数量更得严格控制，稍稍超过就会对灯丝温度比较低的部位产生腐蚀。

实验研究告诉我们，氢能缓和溴的化学活性，如果把溴化氢或溴的碳氢化合物充进灯里，那么对灯内金属零件的腐蚀作用将会轻得多。

溴钨灯里的溴化氢可以在 200 ~ 1100 的玻壳壁温下进行正常的溴钨循环，所以可以用来制作大功率高光效的电光源。

溴清洁玻壳壁的效果比碘好，玻壳发黑的问题基本得到解决。溴化氢是无色透明的气体，不吸收可见光，比碘钨灯的发光效率高。溴钨灯里的气体对流不影响灯的寿命，使用时也不像碘钨灯那样一定要水平放置。

在不少岗位上，溴钨灯已经取代了碘钨灯。

溴钨灯发光体的形状多种多样，有点状、线状，还有面状。

点状的溴钨灯工作温度和发光效率高，在光学仪器、电影放映、光刻等方面有广泛应用。

用很多螺旋状的灯丝，排列成一个均匀的发光面，这就成了面光源溴钨灯。线光源和面光源溴钨灯正逐步被应用到电影、电视、摄影、舞台等方面。

我国从 60 年代初就开始试制充碘的管形碘钨灯，现在已经有了各种不同用途的近 10 个系列的上百个品种，在电影、电视、剧院舞台、体育场、博物馆等许多地方都能找到它们的踪迹。

20 世纪 30 年代，一些新型的气体放电灯初露头角，特别是 40 年代荧光灯取得革命性的进展以后，有人曾经预言：白炽灯的时代已经过去，它们将从照明舞台上消失！

但是预言并没有变成现实，尤其是 50 年代出现光效高、亮度大、体积小、使用方便、价格低廉的白炽灯获得了新的生命力，在照明领域里继续保持着应有的地位。

## 荧光灯问世

新的放电灯一出现，就给人们带来了新的希望。因为这是一种和白炽灯在原理上完全不同的灯。白炽灯靠加热到高温来激发，由热能转变为光，所以称为热光源。而新的放电灯不需要加热到高温，它靠灯内电子与气体原子之间相互轰击来激发发光。它比白炽光源的温度低得多。白炽灯的灯丝要加热到 2000 多度，放电灯放电温度往往只有几百度。从这个意义上讲，我们可以把它称为“冷光”源。这一冷一热有什么根本不同呢？热光源发的光从紫外线、可见光到红外线应有尽有，而且大部分是损耗掉的红外线。作为“冷光”源的放电灯，它发光是有所选择的，充不同气体就发不同的光。有的主要发红光，有的主要发蓝光或绿光，也有的主要发出紫外线。除特殊的红外放

电灯外，一般来说，放电灯辐射的红外线的成分比白炽灯少得多。这样，我们就有希望造出一种放电灯，大大提高发光效率，也有可能配出各种色彩的光，或者配出白色光来。

首先获得成功的是荧光灯。

人们在研究放电灯的过程中，发现一种充汞蒸汽的放电灯。这种灯里汞的气压只有外面空气压力的百万分之一。当放电电流大于 0.1 安时，这种灯的放电比较强烈，发光强，也是弧光放电。它把所耗电功率的 60% 转变为紫外线，而可见光很少，只有 2% 左右，光效比白炽灯低得多。能不能把这 60% 的紫外光转变成可见光呢？这种设想通过人们的努力实现了！原来，有一种物质在紫外线照射下会发出可见光，称为荧光物质。夜光表上的数字和指针就涂有荧光物质，不过照射它的是放射性物质发出的射线而不光是紫外线。把白色的荧光物质涂在放电管内壁上，就能把大部分紫外线“回收”起来，转化为可见光。这种荧光物质一发现，大家就制造各种荧光物质来试，或把各种荧光物质混合起来试。这些荧光物质经紫外线照射后，发出各种色彩的光，简直像在变魔术，而“魔术师”就是科学家。有一个“魔术师”在玩“魔术”的时候，偶然发现一种荧光物质会使放电灯发出像太阳一样的光，“日光灯”就这样诞生了。以前常用的荧光物质是硅酸锌铍、钨酸镁及硼酸镉等混合荧光粉，发光效率约 40 流明/瓦，一下子比白炽灯提高了二三倍。1942 年以后改用卤磷酸钙荧光粉，光效提高到 60 流明/瓦以上。

光效提高了是不是能省电呢？你如果点一支 40 瓦的日光灯，和点一盏 40 瓦的白炽灯相比，并不能省电；相反，因为日光灯有一些附加设备，如镇流器之类，耗电要超过 40 瓦。但是，用日光灯时光通量比白炽灯大二三倍，你会感到亮得多。另一方面，如果以相同的照明效果为前提，那么，用日光灯比用白炽灯省电一半以上，也就是说，用 20 瓦荧光灯的照明效果比 40 瓦的白炽灯还要好。

总之，荧光灯克服了白炽灯的弱点，明显地比白炽灯优越，因此它的应用日益广泛。

## 多用荧光灯

荧光灯不但可以用于照明，还有许多其他用途。

你在医院的手术室里，会看到一种形似日光灯，然而灯管是透明的灯。它会发出一点暗淡的紫光，这就是用来消毒的紫外线灯。它的灯管是用石英做的，管壁里不涂荧光粉，严格说来不应叫荧光灯，然而它是荧光灯的亲兄弟。这种灯使用时不能长期照到人身上，否则会造成损伤。它发出的紫外线既能杀死细菌，也会伤害人体细胞，真有点“敌我不分”，我们使用时必须趋利避害。如果在它的内壁涂上特种荧光粉，专门产生 270 毫微米到 370 毫微米的紫外线，就变为治疗用的“太阳灯”。这种灯对人体的作用和太阳光相同，它发出的紫外线是人体所需要的，照射在皮肤上会使皮肤发红，还会产生出维生素 D，可以用来进行“日光浴”，治疗缺乏日照引起的疾病。但是过量的照射，也是有害的。

你在农村会看到一种捕杀害虫的灯，它也是荧光灯的兄弟。人眼看它并不觉得亮，然而昆虫对它却非常敏感。“飞蛾扑火、自取灭亡”，这是大家所熟悉的一句谚语。许多害虫也有这样的习性，喜欢飞向光源，这种习性称

为趋光性。已经查明许多害虫对 330 ~ 380 毫微米的紫外线特别敏感。于是我们投其所好,用特种荧光粉和特种玻璃,制成能发出 370 毫微米紫外线的“黑光灯”,并在它的周围安上高压电网。这样,就可利用害虫的习性来诱杀害虫。据说一支 20 瓦的黑光灯诱虫面积可达 75 亩左右。

荧光灯还可以根据植物生长的需要制成园艺灯。研究发现,红色和蓝色的光对植物光合作用特别有用。这些光照在叶绿素上,叶绿素就可以把水分和二氧化碳变为植物的养料。植物的叶子吸收对它有用的红光、蓝光,反射用处小的绿光,所以叶子大多是绿色的。根据这种特点,适当调配荧光粉,可以使荧光灯发出较强的红光和蓝光,满足植物光合作用的需要。这种灯不适宜照明,但是对研究植物生长,是一种重要的工具。

此外,还有用于复印的“光化蓝”荧光灯,用于装饰的彩色荧光灯,用于治疗蓝色荧光灯,以及用于高温或低温环境的特种荧光灯。

有意思的是利用荧光灯闪烁的缺点,还可以大致测定转速。

放电灯的发光会随电流变化。交流电交变频率每秒 50 周,使荧光灯的亮度变化 100 次,引起明暗的闪烁。那你为什么看不出荧光灯的闪烁呢?这是因为人眼有视觉暂留的特性。一个形象即使一闪而过,在人眼内也要留一个短暂的时间。只要每秒闪烁次数超过 16 次,人眼就分辨不出来,觉得是连续发光,并不闪烁。电影本来是一张一张不连续的画面,因为每秒放映 24 幅,看起来就像是连续的了,这也是人眼视觉暂留的关系。但是在荧光灯下看快速运动的物体,就会发现一段明亮,一段暗淡,有一种抖动的感觉。因此,有些球场上宁可用白炽灯,而不用荧光灯。

正是由于这种闪烁现象,在荧光灯下开电扇,风扇叶片达到一定转速后,你觉得它停住了,有时还像在慢悠悠地倒转。如果风扇转速和荧光灯闪烁的次数相同,这时你看到的风扇就像停在那里一样。实际上,风扇的 4 片叶子你是分不出来的,只要转速是闪烁次数的  $1/4$ ,就会使你产生停止不动的感觉。如果风扇转速稍慢一点,看起来就像风扇在倒转一样。这种现象既然在电扇上可以看到,那么,在旋转的车床、飞轮、齿轮上也都会发生。看起来好像是静止不动的轮子,你若伸过手去,马上会把手指头都切掉!这种场合就不能用荧光灯,或者要采取特殊的办法,减小闪烁效应,避免事故。

荧光灯的闪烁是一种缺点,但是它有规律,每秒 100 次,所以可以利用它来粗略地测定转速。如果你想检查一下你的电唱机的转速准不准,就可以利用荧光灯的闪烁来帮忙。最简单的办法是用一张圆卡纸,画上 3 圈不同的线条,中间开一孔穿在唱盘上。这 3 圈中,外面一圈均匀地画上 180 条黑条,用来测定  $33\frac{1}{3}$  转:当中一圈画 133 条,用来测 45 转;里面一圈画上 77 条,用来测 78 转。这些线条要画得均匀,才能得到满意的效果。假定你要测 45 转的转速,那么,我们让荧光灯照在圆卡纸上,电唱机转动时,注意观察当中那圈 133 条线条。如果条纹像固定不动似的,说明转速基本上是对的;如果条纹倒转,说明转速低了;如果条纹向转动方向前移,那是转速偏高了。用同样的方法,也可测定  $33\frac{1}{3}$  转和 78 转两种转速。

### 光彩夺目的卤钨灯

电影杂志上至今还有“水银灯下”这一专栏,用以挥写演员的拍摄、演出活动。其实,这是 20 年代的老皇历了。现在你到摄影棚里去,会看到一种

只有钢笔那样大小的灯。别看它小，一开起来，可以把摄影棚照得如同白昼，色彩也比白炽灯漂亮。

要是直接对着它看，准会使你眼花缭乱。它不但用在摄影棚里，也用在电视台和舞台上。在拍摄新闻纪录片时，摄影师要带上两位助手，帮他打几支强光灯，也是这种钢笔大小的灯。这就是卤钨灯。“卤”字代表元素周期表中的卤族元素，也就是氟、氯、溴、碘这一类元素。卤钨灯就是充有卤素的钨丝白炽灯。现在常用的是碘钨灯和溴钨灯。

为什么碘钨灯又小又亮呢？你大概还记得白炽灯吧！它的发光效率很低，这和它工作温度低、辐射的红外线比例大有关。从理论上推算，热光源工作温度在 6500K 时（这里 K 表示绝对温标，它的零度大致等于摄氏零下 273 度），可见光占辐射功率的 43% 左右，达到最高点。温度低了，红外线辐射多；温度再高，紫外线的比例要增加。但是，一般白炽灯用的是钨丝，工作温度才 2700K 左右。再提高温度，灯丝就会很快蒸发、变细、断掉，超过 3000K，就要短寿夭折、只能点一、二小时。

为了减少钨的蒸发，有人想到在泡壳内充一点和钨不起化学反应的惰性气体，如氩、氦、氙等。让气体原子当“看守”，看住钨原子，钨要蒸发出来，就把它顶回去。这样试验下来有一些效果，不过并不显著。这就是充气白炽灯。

1959 年前后，一种巧妙的设想成功了。人们发明了一种新的白炽灯——碘钨灯。这种灯工作温度可提高到 3000 ~ 3200K，发光效率比普通白炽灯高一倍，而且不用担心钨丝的蒸发问题，工作寿命大大延长。

这里用了什么灵丹妙药？我们看到，灯丝上的钨原子蒸发出去后，沉积在玻璃泡壳上。时间一长，灯丝越来越细，泡壳越变越黑。经过长期的努力，人们找到了卤族元素——氟、氯、溴、碘。

比如碘，它有一种特别的脾气：在 250 以上的温度下，它和钨很亲近，会和钨结合在一起变为碘化钨分子；而在 1500 以上的高温下，碘化钨又分解成碘和钨原子。如果在白炽灯内充上碘，灯泡壁上温度超过 250 时，碘就会把泡壳上的钨化合碘化钨蒸汽，从泡壳上拉走，向灯丝方向移动。在灯丝附近因为温度高了，碘化钨分解，把钨交还给灯丝，剩下的碘又移到温度较低的泡壳上去拉钨原子。这样，我们也就不必担心钨的蒸发了。因为消除了后顾之忧，就可以提高灯丝的工作温度。工作温度提高，意味着通过灯丝的电流增加，这也就增加了灯的功率。这样，小小的碘钨灯就能比体积大得多的普通白炽灯更亮。

找到这个“搬运工”以后，问题并没有完全解决，还要找一种适当的泡壳。卤钨灯要求泡壳温度高，卤素还有腐蚀性，普通玻璃已经不适用了。后来，制成了一种石英玻璃，可以做碘钨灯、溴钨灯的泡壳，这种新灯就诞生了。氟、氯有更强的腐蚀性，连石英玻璃也受不了，还要找更新的材料。卤钨循环

卤钨灯主要用于强光照明，例如，用于拍摄电影、电视等。此外，有一类碘钨灯工作温度稍低，能发出大量红外线，可以做干燥器、烘箱的热源。作为光源，红外线强是浪费，是短处；可是作为热源，这就变为长处了。还有一类碘钨灯可以用在灯光球场、体育场、游泳池等场合，既光亮又色彩逼真

## 人造小太阳

### 和太阳一样亮

超高压汞灯里的气压，现在可以做到超过 100 个大气压。两个放电的电极距离很近，只有几毫米到十几毫米，在这样小的区域里加进很大的电流，温度比高压汞灯高得多，发出的光又强又集中。气压在 100 个大气压以上的超高压汞灯，随功率不同，亮度有一些差别。总的说来，亮度和太阳差不多，你戴上深色墨镜还嫌太亮。

亮度高低怎样来判别，是不是灯的功率越大就越亮呢？不一定，高压汞灯可以做到几千瓦，但是还不如几百瓦的超高压汞灯亮。电筒里的小电珠功率不到 1 瓦，因为加有反光罩，它的亮度是指光源在单位面积上，向某一方向的单位立体角内发射的光功率。通俗一点讲，就是光功率的集中程度。同样的光功率，发光区越小，越集中，发射出去的范围越小，亮度越大。超高压汞灯就是因为发光集中，所以亮度特别高。当然，在一个大小固定的发光区域内，光功率越强，亮度也越大。我们后面要讲到的脉冲氙灯就是发光区较大的强光源。

制造超高压汞灯碰到的困难之一是放电温度太高，即使用石英也要熔化。怎么办呢？人们想了两种办法：一是缩短电极距离，放电区域只有像黄豆那么一点大，而把泡壳做成像乒乓球大小的球形，让泡壁远离放电区域，便成了球形超高压汞灯；二是把灯管做成毛细管，就像一只短的温度计，外面通水冷却，这就是毛细管超高压汞灯。

球形超高压汞灯，现在已经广泛用在机车上作车头灯，用在船舶上作照明灯和探照灯。毛细管超高压汞灯的光效比较高，约 60~65 流明/瓦。但是工作寿命短，只有 30~100 小时，有待进一步提高。

### 毛细管形超高压汞灯

超高压汞灯气压高，温度高，发光比高压汞灯接近日光，不必再用荧光粉校正光色。即使这样，超高压汞灯和日光之间仍有相当大的差别，蓝绿色的光还是比较强，显色性不够好。如果用来拍摄彩色显微照片或进行彩色投影显示，色彩还是要失真。这种场合下，超高压汞灯就力不胜任了，要用后面谈到的钨灯或高压氙灯。

除了汞以外，还有其他许多金属蒸汽也可以充在放电灯里，后面我们就来谈其他金属蒸汽放电灯。

### 日光灯创硕果

日光灯——管壁涂有卤磷酸盐的荧光灯，光色仍然不够理想，颇有点名不符实，人们于是总想找到一种光色更接近日光的光源。

这样的光源终于找到了，它就是氙灯。

第一只具有实用价值的氙灯是 1958 年诞生的。

氙是一种惰性气体，它在空气中的含量极少，只占总体积的一亿分之八，英国化学家拉姆塞直到 1898 年才发现了它。

惰性气体有 6 种，氙的体重居第二，比同体积的空气重 3 倍多，所以充氙气的气体放电灯的发光效率，要比充其他惰性气体的放电灯的发光效率来得高。

氙灯有几种不同的类型，我们先来认识一下长弧氙灯。

同普通荧光灯一样，长弧氙灯也是管状的。灯管用耐高温和热膨胀系数小的全透明玻璃制作。管内充有纯度很高的氙气，两头封接两个钨钨或钨钨电极，灯管比一般荧光灯管还长。

长弧氙灯要用触发器来开动。因为灯的工作电压太低，不足以使灯内的气体电离放电。触发器的作用就是产生一种高压脉冲加到灯的两极上，在灯管里形成火花放电通道，同时加热电极发射大量热电子，灯就马上点亮发光了。

灯点亮后触发器就停止工作，不用镇流器，直接接入电网便能形成稳定的弧光放电。

由于氙原子结构的特点，氙气放电能发出很强的弧光，光谱跟日光非常接近，这是它最重要的特点，人们因此称它为“人造小太阳”。

荧光灯的功率受到限制，一般在 5 到 100 瓦之间；氙灯的功率却可以做得很大，少说几千瓦，大的可达几十万瓦。发光效率也高，使用寿命跟荧光灯差不多。

功率越大，管壁温度越高，都要高到好几百度。这时光靠自然冷却是不够的，需要强制冷却，或者用风冷，或者用水冷。水冷就是用循环水冷却管壁，叫沿着水套流动的水把灯放出的热量带走。

当然，既要灯管，又加水套，既需供电，又得给水，水冷是挺费事的。但是，水冷大大降低了灯管的温度，可以增加灯的功率，缩小灯的体积，延长灯的使用寿命，提高灯的发光效率，总起来说仍然是很合算的。

这就是说，功率大，亮度强，光色好，光效高，这些都是长弧氙灯的优点。

一只 5 万瓦的长弧氙灯发出的光顶得上成千只 100 瓦的荧光灯或成百只 400 瓦的高压汞灯，这样可以省下很多的灯具、灯柱和镇流器，管理和维修也方便得多，非常适宜于市中心、体育场、公园、车站、港口、机场、大型工地等处的大面积照明。

由于光色接近日光，长弧氙灯在彩色照相制版，布匹、织物的颜色试验，药物、塑料的老化试验，植物栽培，以及光化学反应等方面也有相当的应用价值。

既有长弧氙灯，相应地就有短弧氙灯。

短弧氙灯实际上是距离很近的两个电极在高压氙气中的弧光放电。正因为两极相距很近，所以氙气电离后发出的弧光很强很短，称之为“短弧”是名副其实的。

从实质上讲，长弧氙灯是高压氙灯，短弧氙灯是超高压氙灯。举例来说，有一种电影放映用的短弧氙灯，灯内充有常温下 5~7 个大气压的氙气，工作时灯内气压高达 20 个大气压。

一般的短弧氙灯多做成球形或椭球形，同高压汞灯相似。功率从几十瓦到几万瓦，发光效率比长弧氙灯略高，光色接近日光，为已有的点光源所不及。

短弧氙灯不但光色好，发光稳定，而且使用方便、清洁，没有烟尘，既

减少了电影放映系统的维修工作量，又有利于人体健康。

具有这么多明显的优点，难怪在短短二三十年内，短弧氙灯的生产 and 应用就有了很大的发展，在彩色电影、电视的摄制、放映，以及舞台照明、照相制版之外，小功率的短弧氙灯用到光学仪器上，大功率上万瓦的短弧氙灯的最亮点甚至超过太阳，可以用到探照灯、成像极和太阳模拟器中。

短弧氙灯两个电极之间的距离很小，只有几毫米到十几毫米，灯管两端的电压不高而电流很大。很大的工作电流会使阳极的损耗大大增加。必须保证阳极有足够大的尺寸才能使热量散发出去，否则就容易烧毁。

光靠增加电极尺寸还不够，小功率的短弧氙灯可靠自然冷却，较大功率的要用水冷，更大功率的要用水冷。水冷也不再是用水来冷却灯管，而是直接用来冷却电极，特别是阳极，这样既可以缩小灯管的尺寸，又给制造更大功率的短弧氙灯创造了条件。

往灯管里充进少量的氢气和氦气，可以使短弧氙灯两端的电压增加，电流减少，从而提高灯的发光效率，也使灯的亮度分布更加均匀。

把少量的水银充进灯里，得到了一种新的汞氙灯。新灯的发光效率高，现在已被广泛地用作机车、船舶以及探照灯的光源。

## 金光洒满街

每当夜幕降临，繁华、美丽的首都北京就亮起了万盏明灯，宽阔的长安大街更是笼罩在一片金色光芒之中，这光来自 60 年代的一种新光源——高压钠灯。

霓虹灯和氙灯里充的是惰性气体，汞灯里装有液态的水银，现在呢，连固体的钠金属也居然进入了灯管。

钠灯和汞灯几乎是同时发展起来的气体放电光源。汞灯有高压、低压之别，钠灯也分高压、低压两类从历史发展的角度来看，高压钠灯是低压钠灯的“弟弟”。

早在 1932 年，欧洲一些国家就用低压钠蒸汽放电制成了低压钠灯。

低压钠灯里充的是少量的金属钠和由氖、氩组成的混合气体。钠灯一通电，氖气首先放电，发出红光。放电产生的热量使钠熔化，蒸发变成钠蒸汽，并且逐步代替氖气放电发光。

要使固体的金属钠变成蒸汽，可不像使水银变成蒸汽那么容易，必须尽量减少热量的损失。或者给放电管做一个玻璃外套，就像给人穿上一件大衣那样；或者把放电管弯成“U”形；或者改变灯管的横截面形状，总之要使灯管管壁保持一定的温度——3000 左右。

人们早就知道发光效率高是钠灯突出的特点，尤其是低压钠灯发出的光中黄光占了绝大部分，而黄光又是人眼最敏感的色光，所以低压钠灯的实际发光效率要比白炽灯高出十几倍。

不过，由于低压钠灯发出的光几乎全是黄光，使它大多仅用在光学仪器里，作为偏振计、旋光计、折光仪等的单色光源。又因为黄光穿透云雾的能力很强，所以低压钠灯也可用于舰船信号以及港口、机场照明。在电影制片方面，有时还用钠灯作特技摄影。

当时人们也知道，随着钠蒸汽压的增大，钠灯的光色会由黄色变成金黄色，只是钠蒸汽在高温高压下腐蚀性很强，各种类型的玻璃都对付不了，所

以很长时间内没有造出高压钠灯。

你认识钠吗？它是一种银白色的化学性质非常活泼的碱性金属，温度不到 100 就熔化，放在空气中会很快跟氧化合，遇到水将发生强烈反应，甚至发生爆炸。

钠蒸汽有很强的腐蚀作用。用玻璃做钠灯的灯管，钠会同玻璃中的二氧化硅发生化学反应，使玻璃变成褐色，透明度变坏，灯光逐渐昏暗。后来化学家找到了一种二氧化硅含量比较低的特种玻璃球铝硼玻璃，这才初步解决了腐蚀问题。

但是，钠蒸汽的腐蚀作用是随着温度和压力的提高而增强的。一般来说，低压钠灯还比较好办，钠蒸汽压比较小，温度不过二三百度，上面提到的抗钠玻璃还勉强能顶得住。而在高压钠灯里，钠蒸汽压大大增加，灯管工作温度高到上千度，高温高压的钠蒸汽几乎能腐蚀所有的玻璃，不仅石英玻璃顶不住，就连抗钠玻璃也抗不了，用不多久便会被腐蚀得灯管变黑，部件损坏。

随着陶瓷技术的发展，直到 1957 年，美国人科里尔才研制出了一种用高纯多晶氧化铝，再加氧化镁添加剂烧结而成的半透明陶瓷。这种材料的熔点高达 2040，经得起 1600 高温钠蒸汽的腐蚀，且能透过 90% 以上的可见光。有了它，高温钠灯才能于 1960 年呱呱坠地，经过改进完善，终于得到了实际的应用。

高压钠灯比低压钠灯更小，一只 400 瓦的高压钠灯只有一支钢笔那么大。它与高压汞灯有很多相似之处：放电管的两头封有两个电极，电极上涂着电子发射物质；灯内装有双金属片开关，目的是使灯容易启动；内管（放电管）外面加装一个椭球形的外玻壳，为的是减少灯的热量损耗，防止引线氧化，保持灯管温度稳定；内外管之间抽成真空，再加消气剂，可以更好防止热量散失。

灯管里不仅充有钠，还充有氙气和水银。水银起辅助作用，帮助提高灯管电压，并发少量的蓝绿光以改善光色；氙气帮助启动，它首先放电升温，然后过渡到钠蒸汽放电，直到稳定，需要好几分钟。

钠灯中的钠蒸汽压越高，黄光以外的可见光比例越大，光色改善，但光效越低。因此，为了获得比较高的光效，高压钠灯的钠蒸汽压是不能太高的。钠蒸汽压超过 500 毫米水银柱的高压钠灯，发白色光，光中有较多人眼不敏感的蓝光和红光，光效于是明显下降。实用的高压钠灯，钠蒸汽压只有二三百毫米水银柱，发出的光是金黄色光。

发出黄色光的高压钠灯显色性不好，在它的照耀下分不清黄和白，也分不清红和蓝，但是它的发光效率要比其他灯高得多，从理论上讲是发光效率最高的光源。即使考虑到热损失的影响，高压钠灯的实际光效也差不多 3 倍于高压汞灯，大约等于白炽灯的 10 倍。

可以作这样一个比较：同样是 400 瓦的钠灯和汞灯，安装钠灯的灯杆路灯已经用上了高压钠灯可以比汞灯高一倍，而路面的平均亮度反而比汞灯高 3.5 倍，而且光的均匀性也好，虽然有些人对它的光色不够习惯，可更多的人仍然觉得金色的光给人以温暖舒适的感觉，看得远，辨得清，光线柔和，眩光少，不刺眼，所以很受行人的欢迎。

在相近的照明效果下，钠灯比汞灯可节省一半以上的电力。请想想吧，一个城市更不用说一个国家有如此之多的照明路灯，节省一半以上的电力意味着可以节省多少宝贵的能源啊！

对于道路照明来说，首先应该考虑的是高光效，经济和长寿命，其次才是光色和显色性，所以高压钠灯被认为是最有前途的照明灯之一。我国许多大城市的街道上已经用上了高压钠灯。区域性照明、闪光照明、大面积厂房和体育场照明也可以用它，将来高压钠灯还可以用作强光投射灯和室内照明灯。

这还不算，钠灯光的穿透力强，射程远，尤其在雾天雨天，白茫茫一片，高压汞灯暗淡无光，高压钠灯却可以穿透浓雾，光照甚远，这对大面积远距离照明很有意义，特别适用于港口、码头、海面等常有浓雾的场合。

长寿是高压钠灯的又一个长处，它可以点亮几千个小时。70年代由于改进了电极，钠灯的使用寿命已延长到1万至2万个小时。

钠灯是60年代出现的新光源，有人称誉它是电光源的第三代。我国70年代初开始研制高压钠灯，1974年国庆前夕就已经在首都试用。现在的问题是要进一步扩大它的功率范围，减小启动电压，改善光色，降低成本。

在电光源的发展史上，高压钠灯的出现是一次重大突破。将来钠灯一定会在照明领域里进一步崭露头角，大放异彩！

## 金属卤化灯

从60年代开始，放电灯在高压汞灯的基础上又前进了一步，发展成一系列金属卤化物灯。这些新灯在各方面都超过了高压汞灯。

人们早就知道许多金属比汞容易激发，容易发光，而且能发出各种波长的可见光。不过固体的金属块是不能应用的，必须是金属蒸汽才能放电发光。可是，大多数金属在常温下蒸汽压很低，不能用来放电。即使给它们加热到1000K，效果仍然不大。怎么办呢？后来，人们从卤钨灯得到启发，想出了用金属卤化物产生高压金属蒸汽的办法，于1961年制造出第一只金属卤化物的放电灯。

用金属卤化物能够获得较高的金属蒸汽压的诀窍在哪里呢？关键在于金属卤化物的蒸汽压比纯金属高得多，常温下就可以放电。在灯的放电中心，温度达到4000~6000K。同前面讲过的卤钨循环一样，金属卤化物在这样高的温度下，分解成金属原子和卤素原子。这时一部分金属原子参加放电发光，多余的金属原子和卤素原子就跑到灯管壁上。管壁的温度较低，只有几百度。在那里，金属原子和卤素原子又结合在一起恢复原状，成为金属卤化物分子，再向放电中心跑。它们就是这样循环地工作着，使放电灯的中心维持高的金属蒸汽压，不断放出华光。

金属卤化物灯可以说是汞灯的亲属，外形不是像高压汞灯，就是像超高压汞灯，电极结构也相近。它们也像汞灯一样，用石英做灯管，里面充上金属卤化物，还要充一点其他气体。充的气是汞和氙，称为缓冲气体，其实把它叫做辅助气体更好。像在钠灯里一样，金属容易激发发光，缓冲气体只帮助改善光、电特性，发的光很少，充当着默默工作的无名英雄。

新灯地发现就像发现一片肥沃的处女地一样，垦荒者接踵而来，短短几年内就把元素周期表上的金属元素翻了一遍。结果除剧毒、不稳定以及蒸汽压太低的卤化物被排除之外，大约找到50多种金属的卤化物可以用来做灯。一种灯可以用一种金属卤化物，也可以用两种、三种以至更多，这样就可以做出许许多多品种的新灯。

可是做灯终究不同于做数学题，50多种金属排列组合何止千万种？而能组成最有用的灯的却不过十几种。常用的各卤化物是碘化钠(NaI)、碘化铯(CsI)、碘化铟(InI)、碘化镱(DyI)、碘化铊(TlI)、氯化锡(SnCl<sub>4</sub>)等。现在，根据不同的使用要求，可以造出辐射不同波长的紫外灯、可见光灯或红外灯，可见光范围内，又可以得到各种颜色的光，如碘化钠发橙黄色光，碘化铯发紫蓝色的光，碘化铯发绿色光等等。把一些金属卤化物组合起来，可以获得高效率的白光，可以制成色温2400~10000K不同光色的灯。

## 地上的闪电

前面我们谈到的都是连续光源，即使放电灯有闪烁，发光基本上还是连续的。脉冲氙灯则能在不到千分之一秒的时间内发出很强的光，就像闪电那样一闪而过，因此也叫闪光灯。它又可以长时间有规律地一闪一闪，就像脉搏跳动一样，所以又称为脉冲灯。它虽然也叫灯，却并不能用来照明，用这种一闪一闪的灯照明，岂不要叫人头晕目眩么！脉冲灯自有它独特的用处。它的最大特点是亮度高，是目前除激光器以外的人造光源中最亮的一种，可以比太阳还亮。

常见的脉冲氙灯，外形像6瓦、8瓦的小荧光灯，用石英制成，透过石英管可以看到两端两根很粗的电极。大的脉冲氙灯也有40瓦荧光灯那么大。这种灯不能接在220伏的电源上，而要用专用的直流高压电源。它需要很高的触发电压，通过绕在灯上的触发丝使脉冲灯启动放电。触发后，灯内产生火花线，形成火花通道，然后发出强烈的白亮闪光，伴随着啪、啪的响声，灯内通过的瞬时电流大到几千安，可以说是地上的小型闪电和打雷。

## 脉冲氙灯

脉冲氙灯的发光效率大约40流明/瓦，和其他氙灯相近。它的色温很高，大约为7000~9000K。发出的光中一部分是可见光，与日光的色彩相近。一支灯用得适当，可以闪光100万次以上。

脉冲氙灯有什么用呢？其实，许多人看到过它的闪光。也许你参加过一些值得纪念的会议，也许你参加过欢迎外宾的活动，至少你在电影或电视上看到过这样的场面。那里最忙最活跃的是新闻记者，在他们穿梭往来的时候，就亮起一阵阵强烈的闪光。这种闪光是从“万次闪光灯”发出的，它就是脉冲氙灯的一种，当然是一种微型轻便的脉冲灯。以前用的有一种像白炽灯泡那样的单次闪光灯，用一次换一个灯泡。这种单次闪光灯和万次闪光灯完全不同，它不是放电灯，也许可以称为化学灯。为什么叫它化学灯呢？这种灯泡中存有细的钨丝，还充氧气。灯一开，3~15伏的电池把里面的钨丝点亮，就像打一下自来火一样，引起钨和氧发生剧烈的燃烧反应。化学反应放出大量的热，把反应中产生的二氧化钨加热到白炽，从而发出耀眼的闪光。因为化学反应提供了发光的能量，所以不妨称为化学灯，也可称为燃烧式闪光。这种灯的闪光时间只有1/20秒，钨丝一次烧完，不能再用。万次闪光灯利用放电发光，可以用5千到5万次。它的色彩比单次灯更接近日光，发光时间只有千分之几秒，但亮度高，适合于彩色摄影，特别是高速摄影。拍摄短跑运动员赛跑，或是拍摄飞行的子弹，如果用1/20秒的速度，只能得到一片模

糊的图像，因此必须采用快速的脉冲氙灯。新型脉冲氙灯的发光时间仅百万分之几秒。

脉冲氙灯能发出很强的近红外线，它的一个重要用途是作为红外线激光器的激发源，称为光泵。比如在工业上作为打孔、焊接等用的固体激光器，产生激光的物质是掺一种稀有金属钨的特种玻璃或特种晶体，一般制成圆棒，把棒和脉冲氙灯平行地放在一个四壁反光的聚光器内。脉冲氙灯发出的强光照射到棒里，使棒里的原子受到激发。在一定的条件下，就能发出激光。这里，脉冲氙灯的作用，有点像水泵把水泵到高处一样，它把激光物质中的原子“泵”到激发状态，随后发光，所以称为光泵。

一般激光物质受到氙灯激发后，发出激光的能量只有光泵能量的百分之一左右。但是，激光不像普通的灯那样，把光射向四面八方，而是集中地发出一束很细的光束。就是因为能量高度集中，亮度可以比太阳高出好多倍。脉冲氙灯虽然功率大、亮度高，但是照在金属板上时，金属板纹丝不动。而激光呢？能量虽然比氙灯小得多，但因为能量高度集中，照到金属板上时可以立即打出一个洞来。

激光是比一般的灯更重要的一种新光源。它的出现引起整个光学的一场革命；它也是科研、工业生产和国防上非常有用的光源。

还有一种脉冲氙灯，称为频闪管。它不像光泵氙灯那样每秒只闪几次，或一、二分钟内一次。频闪管的能量小，闪得快，每秒钟闪 1000 次左右。这是真正用来测量转速的光源，当然它不是像我们前面说过的那样用来测唱机转速，而是用在科研上、工业上测高速旋转的转速。

### 形形色色的新灯

从 1961 年到 1965 年，往高压汞灯里添加碘化钠、碘化铊、碘化铟的金属卤化物灯首先得到了发展。

后来用作“添加剂”的金属卤化物越来越多，结果证明，除了剧毒、不稳定以及蒸汽压太低的卤化物被排除在外，大约找到 50 多种金属的卤化物可以用来做灯。一种灯可以只用一种金属卤化物，也可以用两种、三种以至更多，这样就可以做出很多很多品种的灯。

但是，可以做灯和能够做成适用的灯却是两回事，前者何止千万，后者不过十几。而且同卤钨灯一样，目前已经制成的金属卤化物灯，绝大多数使用的是金属碘化物，包括碘化钠、碘化铊、碘化铟、碘化铕、碘化铥、碘化镱、氯化锡等等，因而也就有钠铟铊灯、铊灯、铟灯、铕灯、锡灯之别。

根据不同的需要，放进不同的金属卤化物，可以制造出辐射不同波长的紫外灯、可见光灯和红外灯。而在可见光灯之中，又可以得到各种色彩的光，如钠原子发橙黄色光，铟原子发紫蓝色光，铊原子发绿色光等等。把一些金属卤化物适当组合起来，还可以获得发光效率很高的白光。

功率大，光色好，发光效率高，重量轻，体积小，安装使用方便，这些都是金属卤化物灯的长处。

较早问世的钠铟铊灯，发出明亮的令人满意的白光，光色比高压汞灯更好、更漂亮，而且不必涂荧光粉。

钠铟铊灯发光又白又亮的奥秘，在于它把钠、铟、铊等几种金属蒸汽所发的光集中起来。其中钠主要发黄光，铟主要发蓝光，铊主要发绿光，它们

按一定的比例相互配合，发出的光就比汞灯好看得多。发光当中，紫外线很少，黄、绿光人眼又很敏感，所以有很高的发光效率。如果再加一点发红光的碘化铯，那色彩就更加完美；再加一点锡，可延长灯的使用寿命达两万小时。

这种充填碘化钠、碘化铯、碘化铊的新灯，不仅可以取代汞灯作街道、广场、体育场、车站、机场、码头等的大面积照明，甚至一些商店、市场和展览会的室内照明也可以用它。

与此类似的一种新灯叫钨钠灯，灯内充碘化钨和碘化钠，曾使用于北京陶然亭游泳池。用 1500 瓦的钨钠灯代替原来的 1000 瓦溴钨灯和 450 瓦高压汞灯，游泳池水面的平均照度可提高 5 倍左右。

镝灯同超高压汞灯类似，它里面充有碘化镝和碘化钬，所以也叫镝钬灯。这两种金属蒸汽都发白光，接近日光的颜色，而且发出的紫外线和红外线不多，所以发光效率很高，等于氙灯的两倍。为了改进光色，还加进一定量的碘化铊，增加绿色光。这样，总的光效就跟钠铊铯灯不相上下，光色则与日光更接近。

把物体放到镝灯灯光下，跟我们在太阳光下看到的物体的颜色几乎一致，这就使它有可能取代碘钨灯和拍摄外景用的大功率碳弧灯而成为一种新的电影光源。它的发光效率高，比碘钨灯高 2~3 倍，一只 1000 瓦的镝灯的亮度差不多相当于 80 只 100 瓦的白炽灯。它比碳弧灯小而轻，3000 瓦的镝灯比 15000 瓦的碳弧灯还亮，而体积只有碳弧灯的 1/3，重量只有碳弧灯的 1/8。

碘化铯是一种比较容易蒸发的金属卤化物。在钠铊铯灯中，它的蒸汽压最高，大约 1 个大气压，发蓝紫色光。铯灯里碘化铯的蒸汽压超过 10 个大气压，铯蒸汽放电发出白光，与日光比较接近，这样的铯灯也叫做超高压铯灯。

只有几厘米长、体态小巧玲珑的超高压铯灯，构造和发光效率都与超压汞灯相似。但是铯灯的光色比汞灯好得多，可以用于彩色显示。用铯灯放映电影，银幕上的画面显得色彩鲜艳，清晰逼真。另外还因为铯灯里的碘化铯蒸汽压高，所以只需充进一点氩或氙做辅助气体，不必充水银，可以免除水银的污染和危害。

我们通常都希望灯光接近日光，但是有时也需要各种彩色光。灯管里装进不同的金属卤化物，就能得到各种不同色彩的灯光，有的鲜红，有的翠绿，有的靛蓝，有的绛紫，真是五光十色，鲜艳夺目。为了获得彩色光，可以采用多种不同的办法，而从鲜艳和高效两方面来考虑，最佳选择还是采用单一金属卤化物灯。

充进碘化铊金属卤化物灯叫铊灯，铊原子受激发放单纯的绿色光，是最受人们欢迎的绿色信号灯。铊灯在合成锦纶的生产中扮演着重要的角色，生产锦纶时用强烈的绿光去照射能加速化学反应，缩短工艺流程，提高合成效率。铊灯的绿光在海水中有很强的穿透力，可以照亮一大片，用作水下电视的照明光源。

同样，单用一种碘化铯放电发蓝光，单用一种碘化铊放电发红光，可以分别制成漂亮的蓝灯和红灯。用其他单一的金属卤化物也能发出各种颜色的光，用来做成各种颜色的信号灯和装饰灯，装点街道大厦，华光四射，色彩纷呈，更添节日欢乐气氛。

一般的金属卤化物灯充的都是碘化物，极少数也有充进其他卤化物的，

比如锡灯里充的就是氯化锡等。这还不算，在一般的金属卤化物灯里，发光的主角都是金属原子，而在锡灯中，金属卤化物并不分解，它是以卤化物分子（比如氯化锡分子）的形式整体发光的。

锡灯的构造也和高压汞灯相像，灯里充有氯化锡、碘化锡和水银，或碘化锡、溴化锡和水银。因为锡灯放电时不是金属原子发光，而是卤化锡分子发光，分子发光比原子发光的色彩更丰富，而且连成一片，所以锡灯发出的光和太阳光最接近，从色彩上讲是真正的太阳灯。加上它还有发光稳定、闪烁小的优点，锡灯实在是一种高质量的室内照明灯。用于美术馆、展览馆照明，用于印刷、染色和摄影，可以保证色彩不失真；用于模拟太阳光，可以进行植物生理等科学研究。

类似的还有充碘化铝的铝灯，放电时也有大量的分子发光，显色性很好。这种灯还有一个有趣的特性，改变灯管的温度可以在一定的范围内调节灯光的色彩。

年龄最小的灯，也是潜力最大的灯。作为后起之秀，金属卤化物灯前程似锦。可它毕竟是一类发展中的灯，锋芒初露，不够成熟，有的稳定性不好，有的寿命较短，有的启动困难，有的装置复杂等等。总之，还有一系列的技术问题有待解决。

但是有一点可以肯定，同白炽灯、荧光灯的出现一样，金属卤化物灯的问世使气体放电灯的发展进入了一个新阶段，开创了一个新局面，将引起照明工业发生一次大革新。

### 只见亮光不见灯

以上，我们所谈的各种新灯，除了卤钨灯以外，都是放电灯。卤钨灯把电能转化为热能，由热激发发光；放电灯把电能转化为放电，放电激发发光。现在所用的光源尽管千差万别，发光的过程基本上是这两种。本世纪二、三十年代发现了一种发光过程完全不同的新光源，现在已经实际应用。这种新光源就是场致发光灯，也叫固体发光灯。

有这么一间房间，里面既没有灯泡，也没有荧光灯管，连一只台灯都没有。这样的房间到夜里该一团漆黑了吧！正相反，电钮一开，整个房间都放出微带绿色的光，你在里面可以看清字典上的小字。为什么只见亮光不见灯呢？原来房间里用的不是常见的灯，而是围绕着房间的四壁有一种新光源——平板式场致发光灯。这并非是“天方夜谭”，而是现代科学的新成就。

在大型体育馆里，你会看到一种新型记分牌，记分员一按电钮，它就自动变换记分；记分牌上的阿拉伯数字发出清晰、明亮而又柔和的黄绿光，这也是场致发光灯。在飞机机舱里，你会看到“*No Smoking*”（禁止吸烟）的信号牌，上面的字符发出醒目的红光，这也是一种场致发光灯……国外还有人想用场致发光灯做成显像管，一只显像管比一块黑板还薄，图像比玻璃的真空显像管大得多。如能用这样的显像管制成电视机，将会受到大家的欢迎。什么叫场致发光呢？这是指有些固体能在电场的激发下直接发光这样一种现象。平板式场致发光灯像一块很薄又很大的夹心饼干。夹在中间的是发光主体——一层由荧光粉和树脂或搪瓷混合成的荧光粉层，有时还多加一层保护层，防止荧光粉层在电场下击穿。两块“饼干”，一块是透光的玻璃板，上面涂上透明的导电膜，作为灯的一个极；另一块是金属片，既当电极，又可

以反射光。这层“夹心”——发光层不到 1/10 毫米厚，两面的“饼干”也很薄，整个灯像一块薄板，和我们日常见到的灯没有一点相像，难怪人们认不出来。这种灯的发光层上要加上电场才能发光，所以，电极是什么形状，发光也就是什么形状。如果把电极分成许多小格，有些小格加上电场，有些小格不加电场，加电场的发光，不加的不发光，这样就可以组成各种图案、数字或文字。进一步，还可以控制电场加入的方式，产生各种变化。格子分得很细，成为一个个小点，电场变化得快，就可以显示电视图像。

实用的荧光粉主要是高纯度的硫化锌晶体，掺入一点金属杂质做激活剂。所掺杂质的成份不同，比例不同，发光的颜色也不同。可以发出蓝、绿、黄光，其中以绿光材料最好，所以一般场致发光灯都是绿色的。要得到红光，可以在玻璃表面涂上有机荧光涂料，把黄绿光转化为红色荧光。有了这许多色彩，配起来就可以得到白光。真是色色俱全，五彩缤纷。

场致发光灯电源可以是直流，也可以是交流的，以交流电源为主。飞机上有 400 赫的交流电，是场致发光灯最好的电源。

这种灯的理论光效很高，约 100 流明/瓦。而实际上受制造工艺的限制，最高只有 15 流明/瓦，不比普通白炽灯高多少，大批生产时光效更低。它的突出优点是耗电少，每平方厘米约一毫瓦，一块记分板耗电不到一瓦；寿命长，可以用几万小时，相当可靠。它是名副其实的冷光光源，再加上结构简单，所以虽然目前光效低、价格高，仍是一种使用广泛的指示、显示灯。

除了前面提到的几种用途以外，场致发光板可以做收音机和电视机的调谐标度盘、公共场所出口信号灯、汽车仪表盘和公路的路标牌等。飞机上要用耗电少、重量轻的光源，场致发光灯恰好能满足这些要求。机舱信号、控制板照明、地图阅读器等都用上了场致发光灯。在科研中，场致发光板还可以做成图像存贮板，用来显示 射线、 射线、紫外线以及红外线等不可见射线。

当然，场致发光是一种发展中的新光源，发光材料的性能和灯的性能都还要进一步提高，才能发挥更大的作用。

## 明天更光明

时代的列车在飞奔，“不满足”是这一列车的轮子，载着人们滚滚向前！

人类和黑夜进行了几十万年的斗争，近百年来取得了辉煌的胜利。特别是白炽灯出现以来，照明领域发生了翻天覆地的变化。白炽灯到本世纪初发展成钨丝白炽灯。而电弧灯到了本世纪发展成 30 年代的荧光灯，40 年代的高压汞灯，50 年代的氙灯，60 年代的金属卤化物灯、高压钠灯，70 年代的无极荧光灯等等，形成了庞大的照明工业，真是万紫无极荧光灯千红，争光斗艳。灯的性能也越来越好，光效从爱迪生第一只实用白炽灯的每瓦 1.4 流明，提高到高光效灯的每瓦 140 流明，整整提高 100 倍。灯的寿命从几小时提高到几十万小时。最亮的光源可以比太阳还亮（如激光），最大的放电灯长度在一、二米以上，功率几十千瓦；最小的白炽灯泡直径不到 0.8 毫米……

但是人们并不满足，还在不断努力、不断探索、不断前进！人们要使最少的电能发出最多的光能，要用最少的钱获得最好的灯，达到尽可能好的照明效果，要使照明灯的使用寿命越来越长。总之，人们还在努力寻找经济、长寿、方便和高光效的光源。

热辐射灯的特点是发连续光，使用方便；缺点是寿命短，光效低，大量电能变为热损失。充气或用卤钨循环原理制成的灯，光效虽有提高，人们还是不满意。继续改进的一条途径是提高热辐射灯的灯丝工作温度。例如氟钨循环就是一种方法，如能实现，可以稍稍提高工作温度，提高光效和寿命。另一条途径是找熔点更高的材料，这样的材料早就发现了，而且不止一种，但是有的加工性能差，有的容易蒸发，有的在高温下不稳定。比较好的是碳化钽，熔点达 4150K，1963 年已经克服加工困难，用来做白炽灯，工作温度达到 3500~3600K，光效和光色均有改善。

还有一种想法是：既然白炽灯中有大量的热损失，其中大部分是红外辐射，能不能把红外辐射利用起来呢？从根本上来讲，这种想法更富有创造精神，因为白炽灯中可见光能只占 5%~6%，而红外辐射却占 75%左右。如能利用起来，光效就不是 10~20 流明/瓦，而是 100~200 流明/瓦了。世界上点这么多的白炽灯，如能把光效提高 10 倍，90%的电能就可以省下来，这将是一项多么重大的改革啊！有没有人想过这小灯泡里的大事业呢？确实有人在想。提出来的一种方法是在白炽灯泡壁上涂上一层红外反射层，透过可见光，把红外线反射回去加热灯丝。另一种方法更妙，要找一种特殊材料，直接把红外辐射转化为可见光。对这两种方法都在做研究，也取得了一定的进展。

气体放电灯是一种正在迅速发展、日趋成熟并在广泛使用的光源。它的特点是高光效、长寿命、花色品种繁多；主要缺点是使用不如白炽灯方便。这种灯也在不断改进和发展。现在，已经试验成功一种高频无极荧光灯，它兼有荧光灯和白炽灯的优点：光效高，寿命长，使用又方便。它的外形和 100 瓦的白炽灯泡一样，不过它有内外两层泡壳组成，泡壳之间抽真空，充入一定量的汞和氙，外层泡壳的内壁涂荧光粉。它和荧光灯、白炽灯都不一样的地方是没有灯丝。它的灯头上有一个高频电子组件，把 220 伏交流电变为高频电流，通过磁性线圈在灯泡内形成高频电磁场。在高频电磁场作用下，氙汞混合气体中产生高频放电，发出强烈的紫外线，然后荧光物质把紫外线转变为可见光。用无极荧光灯代替白炽灯，可以节省 60%~70% 电能。这种灯

目前正从实验室走向工厂，是一种有前途的新型荧光灯。

同时，人们利用稀土铝酸盐荧光材料，制成了红、黄、蓝三基色荧光粉，可以制成光效和光色兼优的荧光灯。其他如高压钠灯和低压钠灯正在继续改进。一些金属卤化物的新灯也在继续发展，还在研究进一步提高气压、简化结构、改进工艺等方面的问题，以便使之更加实用。

另外，人们还发明了一种利用放射性同位素激发荧光粉发光的灯，叫做原子灯。这种灯不用电源，可以自动发光，寿命达十几年，使用也比较方便可靠。不过，它还在发展阶段，不够完善。

为了寻找更理想的灯，人们还在研究怎样跳出白炽灯和气体放电灯的框框，作更大胆的设想，研制发光原理根本不同的新光源。

从能量利用的角度考虑，用电的光源并不理想。目前的电能大多是从燃料燃烧产生的。燃烧产生热来推动发电机，从化学能转化为机械能，然后发电机发电，再从机械能转化为电能，总的转换效率只有 30% 左右。电能再转变为光能，平均效率约 10%。所以从化学能转化为光能的总效率才 3%。能不能把化学能直接转化为光能呢？能，自然界给了我们种种启示。自然界中存在许多发光的动物，萤火虫就是其中的一种。

夏夜在农村里乘凉，经常会看到萤火虫慢慢地闪动着黄绿色的光。据说，古时候还有人把许多萤火虫捉来当灯。萤火虫发的光是由一种叫“萤光素”和一种叫“萤光酶”的物质和氧气产生化学反应时放出来的。经过研究，人们发现萤火虫发光的能量转换效率高达 97%！我们现在用的光源距离这样的水平还远着哩。真是科学无止境啊！目前有人研究把镁氧化时的化学能转化为光能，制成镁光灯。在古老的照相馆里曾用过这种镁光作光源，淘汰了几十年后，人们又想到它了，据说现在这种灯的效率已可达到 10%。

还有一种设想是利用世界上最大的能源——太阳。目前利用太阳能，主要是使它转变为热，例如太阳灶；或使它转变为电，如太阳能电池。是否可以用太阳来照明呢？白天利用太阳比较方便，建筑物采光性能好，就可以直接利用太阳光。采光不好的，也有可能通过高效的光学装置把阳光引入室内，国外已经有人在做这方面的实验。晚上呢？目前还没有太好的办法。是否可以大胆地设想，将来会发明一种蓄光系统，将白天的阳光储存起来，到夜间放出来供人们使用呢？应该是可以的。从某种意义上讲，整个科学技术史就是由大胆设想、刻苦钻研和辛勤劳动构成的和谐而美妙的乐章。大胆设想、刻苦钻研和辛勤劳动将为科学技术发展带来美好的未来，也将使未来的灯更加光辉灿烂！

