

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

世界科技全景百卷书 (25)

机械

 **eBOOK**  
网络资料 免费下载

机械

## 蒸汽机革命

### 第一个利用蒸汽力的人

最早发现蒸汽的力量，并且利用这股力量制作出了第一台利用蒸汽力的器具的发明人，人们一致认为，要上推到公元 60 年前后的古希腊工程师希罗。

希罗是一位工程师，他对机械学有许多卓越的认识和杰出的创造，使现代科学家都感到叹服。

希罗最著名的发明是用蒸汽推动的空心球。空心球是用铜做的，上面连着两个空心的、方向相反的弯管，把这个空心球卡在连通着蒸汽的管道上，当球下面的器皿里的水烧沸腾起来的时候，蒸汽进入那个空心球，然后从装在空心球上的两根弯管的管口喷了出来，因为两个管口的方向相反，两股相反的力形成一股扭力，这股扭力就会推动着空心球不停地迅速转动。

这是人类最早发明的将蒸汽力转变为一种运动的方法，用人们的现代科技名词来表述，它可以称得上是早期的蒸汽机。

希罗还曾经利用这种蒸汽能推动物体转动的原理，制造了一种能转动的女神，当人们点燃殿前的蜡烛时，人们就放出蒸汽，推动着女神围绕着她的神座转动一圈。同样的道理，也可以在信徒们要想进入神殿的时候，只要提供一些供品，躲在暗处的僧侣就会开启蒸汽的通路，神殿的大门也会转动着打开，仿佛有一种看不见的神奇力量在开启大门似的。

当然，在希罗的那个时代，他发明的蒸汽空心球，不过是当作娱乐的一种玩具，而那种用蒸汽去推动女神转动或神殿大门开启的创造，只不过供给僧侣们用来骗取虔诚的信徒们的供奉罢了。在奴隶时代的那个社会，有谁会去想到利用这种非动物界蕴藏的力量去做工，用来代替奴隶们进行的繁重而痛苦体力劳动呢！

幸喜希罗对自己的发明和研究，写了几本著作，其中一本名叫《压缩空气的理论和应用》，在这本书里，希罗描述了虹吸、蒸汽装置、硬币操纵的机器，一种救火器和一种水琴。使人们看到了希罗的才智。

根据希罗在书中的描述，人们画出了利用蒸汽推动神殿大门的示意图：在祭坛的 A 上点着火，使祭坛内部的空气压力增加，挤压着空心球 B 里贮藏的水通过水管流入水桶 C，当水桶的重量渐渐增加而向下沉坠时，就会拉动盘绕在殿门旋转轴 D 上的绳子，绳子被拉动时带着旋转轴回转，殿门于是缓缓打开。

当祭坛的火熄灭以后，空气的压力恢复正常，安装在旋转轴下方的配重 E 就会下坠，同时拉动着以相反方向绕着的绳，使旋转轴朝着相反的方向转动，殿门又徐徐关闭。

这一切，联系得是多么巧妙，又是多么的隐蔽，前来敬奉神明的虔诚信徒，怎会想到它是由在祭坛上点着的火来操纵的呢？！

至于希罗发明的那种会转动的空心球，也并不是一点用处也没有。这也是一个很巧妙的设计，而且它并不一定要靠蒸汽来推动，只要受到内部流体力量的冲击，就能转动。现在已经根据这种原理制造出一种可以旋转喷水的喷灌器，而用于驱使喷灌器的喷头转动的那股动力，已不是蒸汽的力，而是有压力的水流。当你走到公园的草坪上，看见喷灌器的喷头在旋转着绕着圆

圈喷水的时候，不妨留住脚步仔细地观察一下它的结构，想一想它的基本原理竟是在大约 2000 年前，一位名叫希罗的古希腊学者发明的，那个时代还远远没有建立物理学的理论体系哩！

至于要想具体问一问希罗究竟是哪个世纪的学者，我们不能回答得那么准确，因为历史并没有准确的记录，人们只是根据他在一本著作中曾经记载了一次月蚀，而这次月蚀在公元 62 年时在希罗生活的亚历山大城可以观察到，人们由此推断，希罗大概是公元 20 年左右出生的。

## 萨弗里蒸汽车

历史进入了 18 世纪，在英国，由于炼钢的需要，英国的森林几乎都要被砍伐光了，但是企业家们对燃料的需要仍旧十分迫切，这时人们发现，幸亏英国的地底下蕴藏着丰富的煤，一时之间，矿业主们纷纷投入资金和设备去大力开采地下的煤矿。

煤矿的开掘越挖越深，从矿井里渗透出来的地下水使矿主们伤透了脑筋。因为为了将矿井里的地下水排除出去，不得不动用马拉动轱辘或者戽斗去把地下水深处的水提上来，有的矿井要用 500 匹马来干这种活，想想看，这要耗费多大的费用。精明的矿主一合算，觉得自己开采煤矿所得的那点赢利，付出高昂的排水费用以后，剩下的就不多了。

在这样的背景下，社会迫切需要找到一种能代替马力去排水的其他办法，这时，当然就会有人开动脑筋去寻求。

17 世纪的德国物理学家葛利克，于 1650 年化了两万美元制造了第一台抽气机，在当众进行表演的时候，他曾说，只要能够制造出真空的装置，大气压力就会创造出奇迹来。但是用手工气压泵来制造真空的装置，既费力，也太费时了。

有没有比较简便而又省力的方法制造真空呢？这个问题一直萦绕在一位名叫萨弗里的工程师的脑际。

萨弗里是英国皇家工程师队的大尉军官，1650 年出生于康沃尔，那里是出产铜矿的地方。萨弗里在那里亲眼目睹了矿工们在开采铜矿时遇到的困难：当矿井掘到一定深度的时候，地下水就会不断地渗透出来，涌满了整个坑道，矿工双腿都没在冷水中操作。为了排出坑道的积水，当时只有采用根据葛里克提出的真空提水的水泵用手压泵造成真空的办法提水。

然而，采用这种方法提水，并不能一次就达到将水提到所需要的高度，而需要在几个高度安装几台水泵，接力提水，可以想象得到，要想在狭窄、黑暗的坑道里安装几台水泵，它的难度肯定很大，费用也是很可观的。

于是萨弗里想到，手压水泵为的是要造成能使大气将地下水挤压上来的真空，而充满蒸汽的容器在冷凝以后，不是同样可以得到真空吗？这样不就可以同样可以达到利用大气的压力将近地下水挤压到形成真空的管道里去了吗？

他设计发明了一种利用蒸汽的抽水机。这台蒸汽机的工作原理，简单地说，是这样的：锅炉 B 里的水烧开以后，蒸汽从上面的管道送出，通过汽桶 T，蒸汽挤压着汽桶里的水从通向上方的 P' 管中排出，待汽桶 T 里的水排空，蒸汽又冷凝以后，汽桶 T 变成真空状态，大气压力就会挤压着地下水从通向下方的 P 管中涌上来，将汽桶 T 灌满。在这种循环的过程中，从锅炉 B 到汽桶 T，连通的管道有一阀门，可以启开通入蒸汽，也可以关闭不让蒸汽进入。

而与汽桶 T 相通的 P 管和 P' 管,则都有一个单向阀门,只能让水流进和流出。

萨弗里发明的这种机器,原理和构造都比较简单,但却同时利用了两种力量:利用蒸汽的张力把水送出去,利用大气的压力将水从地下提上来。

当然,萨弗里真正投入生产的蒸汽机比这个原理图要复杂得多。

萨弗里将自己发明的机器模型,于 1698 年夏天在汉普顿宫呈献给威廉三世。他将自己发明的这种机器称为“矿工之友”(实际上,将它翻译为“矿业主之友”会更合适些,因为受益的实际上是矿业的主人即企业家们)。

萨弗里在他的专利申请书中,用带有浓厚的宣传色彩的语言介绍自己的发明及动机,他写道:

致英格兰矿业界诸位企业家先生:

我很能体会,诸位中有很多位仍把我所发明的,用火的推进力来提升地下水的方法看成是一种无用的设计,而且认为这样的发动机完全不能在地下使用,也不能用来提升和排除你们矿井中的积水,也就不配受到你们的任何鼓励。这种看法绝不符我进行这一发明的意图,也不符合我的抱负。我不希望自己背着一个投机创办人的坏名声,所以特此呈献我的机器草图一份,列举出它的种种用途,以便你们可以考虑决定它到底是否值得费你们一些事来利用它……

对于排除矿井和煤坑中的积水,只要采用这种发动机,它就可充分表现出自己是能够提升水的,不但简便易行而且节省费用。我不怀疑,几年之内,它将使矿业的生产,达到今天效率的两倍,如果达不到三倍的话,从而矿业的生产成为我们王国中不可低估的一部分财源。再说,当前我们王国大量出口的铅、锡和煤,是在花费了大量的排水开支和矿工们忍受了一言难尽的排水痛苦和困难的情况下才取得的,那么,只要一旦采用了这种在各个方面都适于矿井需要的发动机,开支大大节省,效率大大提高,矿业的出口量岂不将大大提高吗?

萨弗里是很擅于进行宣传鼓动的,他认为,自己的这项发明可以有多种用途:用来抽干沼地,排出矿井中的积水,供给城市和人们的用水、扑灭火灾、推动磨轮等等。加上他为自己发明的蒸汽机的名字起到很能引起矿业主和矿工们的好感,他对自己专利的申请又写得是那么入情入理,富有诱惑力,于是首先被矿业主在矿井上使用。首先是应用在康沃尔郡的一个铜矿里,后来又被用在斯塔德耶郡的一个煤矿里。

使人感到失望的是,萨弗里的“矿工之友”在实际应用的过程中,并没有达到他所表白的那样高的效率。它并不能将水升到矿井所需要的高度,又因为它没有安全阀的装置,而如果将蒸汽的压力再加大一些,又很容易造成锅炉团承受不住这么大的压力而发生爆炸。可在当时的条件下,人们又还没有找到具有足够耐压力的材料和高超的技术来制造出耐压的锅炉,又缺少测量显示出锅炉内压力的装置,可以及时预防,保证安全。再者它的锅炉受热面积太小,在冷凝过程中造成的燃料浪费十分严重,如果用它来给城市居民供水,费用又太昂贵,所以,“矿工之友”蒸汽机只用在有的花园式私人住宅中进行装饰性喷水,因为这不需要很大的功率,提升的高度也不大,效果还可以。

不过,萨弗里也有属于他自己的创新——他在蒸汽锅炉上安装了量水旋塞,可以用它观察到锅炉中的水位。

那么,萨弗里在蒸汽机的这段科技史中有什么意义呢?

英国科技史家贝尔纳认为：“萨弗里的发动机工作起来有不少实际缺点，但它主要的价值乃在于表明用蒸汽动力提水这个问题是能够付诸实践的。”

因为，不管怎样，当时萨弗里的蒸汽机确实被有的矿业主所采用，是首先将蒸汽机实际应用于生产并走向社会的发明。而且，从萨弗里的申请中我们可以看到，萨弗里当时已经预见到应用蒸汽机的重要性和可能性；而且认识到采用这种动力去干繁重而又连续不断的工作，对于抽干矿井中不断涌出的地下水来说，具有多么大的优越性，这都是一种很了不起的思想。

## 纽科门蒸汽机

由于萨弗里的蒸汽机具有不少缺点，例如它动作缓慢，抽提水的高度和数量有限，还需要人在那里不断地定时启闭阀门；而且既没有压力计来测量锅炉里的压力，又没有调节装置例如减压阀之类来减少压力，因而存在着实际的爆炸危险性，所以它的推广有限，这种状态势必激励着其他的人来对蒸汽机进行创新、改良。成果之一，就是导致了纽科门蒸汽机的出现。

纽科门出生于 1663 年，是一位小五金商和铁匠，一般都认为他没有受过专门的教育。根据曾以对蒸汽机有过研究的罗比森的记载，说纽科门在发明研制他的蒸汽机的过程中，在 1702 年前后，他曾经和当时英国的物理学家胡克通信，讨论是否可以根据帕潘提出的蒸汽冷凝以后可以形成真空的理论，利用它与大气压力的压力差这个特性，将它作为一种获得动力的手段。据说胡克曾经回信告诉纽科门说：“如果你能在你的第二汽缸中造成快速真空，那你就大功告成了。”

但据考证认为，除了罗比森曾经有过这样一段记载以外，在其他人的著作中都没能再找到关于胡克曾经对纽科门的发明进行过讨论的根据，也就是说，在当时的英国史学界，一般不大愿意承认或相信作为铁匠出身的纽科门，他的发明与曾经作为大科学家的胡克之间，有过什么交往。

尽管如此，纽科门还是和他的朋友卡尔合作，于 1705 年或 1706 年发明了他自己的蒸汽机。卡尔也只不过是一名小制造商和装配玻璃的工人，但也有人认为他是一个小农场主。总之，他也是当时在社会上不受重视的未曾受过正规教育的手艺人。

纽科门设计的蒸汽机比萨弗里的更简单，从原理上看，是这样的锅炉 B 与汽缸 C 相通连，汽缸上面有一个活塞 P 在动作，活塞 P 是杠杆 D 的一端，当汽缸里的蒸汽膨胀时，推动活塞 P 上升，使杠杆 D 的另一端 R 下降，R 下面连接有重量的平衡锤 N，N 挤压着水泵上的活塞 P' 下降；当汽缸里的蒸汽冷凝成为真空时，大气压力就会推动活塞 P 下降，它就带动着杠杆 D 的 R 将平衡锤 N 提起，使地下水被大气压力挤压着，冲开活塞 P' 涌入水泵。这样，只要连接着锅炉的汽缸不断充汽、冷凝，它的活塞 P 就会不断地上下往复，成为有节律的运动，抽水机也就连续不断地工作了。

纽科门蒸汽机发明之初，确也表现出是一种制作工艺相当粗糙而且简陋的机型，由于不具备对机器零部件进行精密加工的设备，活塞与汽缸彼此间本应要求它是紧密吻合的，但达不到这种要求，相互间留着相当大的空隙，工作时只有靠水覆盖着才能达到密闭的要求；而用冷水浇灌汽缸使里面的蒸汽冷凝，由于冷却的温度不够，也未能获得理想的、完全的真空；特别恼人的是，安装在汽缸与锅炉通道上的那个龙头，每隔七八分钟就需人去开关一

次，十分繁琐，等等，都是不可否认的缺陷。

再就发明的原理看，萨弗里是同时利用了蒸汽的张力和大气的压力，而纽科门没有利用蒸汽的张力，只是利用蒸汽经过冷凝而使气缸产生真空这一特点。所以有人认为，严格地说，纽科门设计的蒸汽机，取名为气压机会更贴切些。

由于这样一些不足之处，加上纽科门和卡尔两人都出身寒微，所以科学家对他们的发明并没有给以高的评价，但这并不影响他们取得了事实上的成功。从 1711 年起，纽科门已经建立了自己的生产蒸汽机的公司，公司的名字叫“用火使水升高的发明权所有人公司”。由于纽科门蒸汽机只是利用低压锅炉的汽缸在冷凝时所形成的真空（低压），而没有利用蒸汽的张力，所以不需要像萨弗里的蒸汽机那样，将机器建在矿井下，也不需要很多的照管，已经具有较大优越性；再说，没有利用蒸汽的张力，这点虽可认为是一不足之处，但在当时的条件下，它却不必担心由于蒸汽压力而使锅炉爆炸的危险，又具有可以确保安全生产的另一大优点。

这几点优点综合起来，使纽科门蒸汽机很快在矿业界被推广，不但在英国被采用，在欧洲大陆的其他国家也有采用的。因为一台纽科门蒸汽机所抽的水，等于 50 匹马所做的工作，蒸汽机不需要像马那样喂饲料、照管，所以费用只需用马抽水的六分之一。后来，纽科门蒸汽机不但成为矿业主的宠物，而且在运河边也用它给蓄水池和水闸供水，在城市用它供给饮用水。

纽科门的蒸汽机一直被使用了半个多世纪，大约有数百个左右的英国矿井采用了这种抽水机。纽科门虽然没能在科学原理上有什么贡献，但是他利用几条简单的原理，利用原始的工具，凭着他的技能和才智，制造出了一种机器设备，它能成功地代替人力或畜力去完成繁重的工作，这种工作是以往采用过的各种动力都无法完成的，这恰恰是手艺人（工匠）的灵巧的手所作出的杰出的创造，是仅仅在理论上有一套而缺乏动手能力进行实践的科学家所不及的。

尽管纽科门蒸汽机还存在着这样那样的缺点或不足之处，但它毕竟是蒸汽机发展过程中一个重要的转折点。正是由于纽科门蒸汽机的出现，蒸汽机才真正在社会工业生产中展现出它那巨大的推动力量。

至于说到蒸汽机在理论上和实践上都取得重大突破，这个问题，要等到将近半个世纪以后，由瓦特对它进行深入地研究，并和当时的物理学家进行探讨以后，才发生了根本性的变化。

## 瓦特蒸汽机的创造

纽科门蒸汽机一直在社会上使用了半个世纪，而且制造了数百台投入生产，但是，总的结构却始终没有发生什么变化，它的发明人和经纪人纽科门，也没再对它有进一步的改革创新，这倒真有点如有的科技史家所分析的那样，是因为科学和科学家没有进入这一领域加以探讨的缘故。

历史进入 18 世纪中叶，将科学和科学家带入蒸汽机领域的，就是后来被大家所公认的蒸汽机发明家瓦特。

需要正式加以澄清的是，瓦特发明蒸汽机决不像传说中说的看见壶盖被蒸汽冲动而产生发明灵感那么简单。

而且我们已经从前面的故事中看到，瓦特蒸汽机决不是属于他独自一人

的发明。

现在我们就要讲到瓦特和蒸汽机发生接触的正题。

瓦特在格拉斯哥大学正式挂起了修理仪器的招牌以后，陆续送来修理的教学仪器和模型不少。有一天，瓦特接到一台蒸汽机模型请他修理，它就是纽科门蒸汽机模型。这可真叫瓦特喜出望外。

这是因为，瓦特进入格拉斯哥大学以后，结识了不少学者，接触了不少科学的仪器，他的知识领域大大丰富，他的眼界也大大开拓了。特别是他在进入格拉斯哥大学以前就结识了年轻的大学朋友罗比森——他现在已读硕士学位了——给了他不少帮助。

罗比森和瓦特谈起过蒸汽机，谈到人们已经实现了用蒸汽力代替人力、畜力作工的愿望，也谈到蒸汽力的应用将有远大的前景。罗比森认为，蒸汽机不仅只用来提水，还可以把安装在工厂中带动织布机，甚至也许应该将它装在车子上让它推动车轮转动。

这一切都使深爱仪器和模型的瓦特产生了强烈的兴趣，他从罗比森那儿借到了不少关于蒸汽机的图纸和资料进行琢磨。这种探讨从 1759 年起就开始了。可惜他一直没能真正看到纽科门蒸汽机——看到它的结构以及它是如何工作的。

1763 年，瓦特终于得到了这个机会：格拉斯哥大学有一台教学用的纽科门蒸汽机坏了，虽然曾经把送到伦敦去找名匠修理过，可取回来后不久又不运转了，于是送给瓦特修理。

这下子瓦特可高兴了。他终于见到了真实的蒸汽机，而且可以将它拆开来仔细看个究竟，再装配起来看它怎样工作。

在修理的实践过程中，瓦特发现纽科门蒸汽机并不像他渴望和仰慕已久的蒸汽机那样完美，而存着不少明显的缺点。

比如说，纽科门蒸汽机并不符合蒸汽机这个名称，因为它并没有利用蒸汽的张力，就像萨弗里蒸汽机那样；它仅只利用了气压的压差，严格地说，还不如叫气压机更名实相符些。瓦特认为，如果已经烧出了那么多的蒸汽而让张力白白散失，仅仅只利用了它的气压差，这未免太“大材小用”，也未免太浪费了，因为蒸汽本身的力量几乎是无可限量的呀！

又比如，瓦特发现，纽科门蒸汽机也太费燃料了。他对这种蒸汽机产生的蒸汽之大和工作汽缸之小的不成比例，感到惊奇，根据自己已经懂得的知识，进行了大量的试验和计算，发现用煤烧出的蒸汽，仅仅只有四分之一用在作功上，而那四分之三却白白浪费了。造成这种浪费的症结在什么地方呢？

瓦特向罗比森提出了自己的问题，罗比森带瓦特去请教了格拉斯哥大学的布莱克教授。布莱克是化学教授，但却对热的研究很感兴趣。

布莱克教授在当时最著名的发现是“潜热”理论，而对瓦特思想难题最大的理论启发，也正是来自潜热理论。

布莱克教授的“潜热理论”指出：当物质从一种状态转到另一种状态的过程中，需要吸收或放出热量。比如说，当 100℃ 的水转变为 100℃ 的蒸汽，虽然同是 100℃ 的温度，但 100℃ 的水必需再吸收足够的热量才能转变为 100℃ 的蒸汽，而当 100℃ 的蒸汽重新冷凝为 100℃ 的水时，又需要将汽化时所吸收的热重新释放出去，为了使蒸汽放热就需要在汽缸外面浇泼很多的冷水。

水变成蒸汽所需吸收的热和蒸汽冷凝所需释放的热，都被称做“潜热”。

布莱克和瓦特讨论了纽科门蒸汽机费燃料多而作功少的问题，认为用潜热的理论可以找出根本的原因。

瓦特很同意布莱克的见解，他从布莱克那儿出来，自己设计了一个较小的实验装置来检测，不久他去告诉布莱克，说他通过实验测量到，将开水变成水蒸汽所需的热为 825（热度），这个实验结果和布莱克教授测出来的开水变成水蒸汽所需的热为 810（热度）十分接近。

瓦特从布莱克的“潜热”理论中获得了启发：纽科门蒸汽机的要害就在那蒸汽缸上面。它的汽缸既容纳从锅炉里喷出来的蒸汽，然而，当蒸汽注满以后，又要立即喷上冷水，使蒸汽冷凝才能产生真空利用气压的压差去推动杠杆。这样，汽缸一会儿需要加热到充满蒸汽的程度，一会儿又要浇凉到使蒸汽完全冷凝的程度，更何况将浇开的水加热成水蒸汽，还需要相当多的“潜热”，那当然得多烧很多的煤啦！再说，这样用冷水去浇汽缸而使蒸汽冷凝的方法，所得到的冷凝效果也是不充分的，原来那没有产生做功作用而白白烧掉的四分之三的煤，都消耗在既作为汽缸，又完成冷凝功能，一物两用的汽缸兼冷凝器上面啦！

科学和科学家一旦进入蒸汽机的领域，果然使瓦特的认识得到了飞跃的突破：他需要解决的关键问题，原来是潜热消耗太多的矛盾，他需要的是循着这个思路，去找到解决这一矛盾的具体方法。

有什么办法能解决这个矛盾呢？这个问题日夜萦绕在瓦特的脑际。1763 的 5 月的一个星期天的早晨，瓦特在格拉斯哥大学的草坪上散步，他突然冒出来了一个极为简单明了的想法——将汽缸里的蒸汽送到另外一个容器里去单独冷凝，不是同样可以达到既获得了可以做功的真空，又保持着汽缸里的温度不致下降，以致需要反复加煤使它不断增温吗？这样不就可以大大提高热的利用效率，节省大量燃料的消耗了吗？

瓦特的这一发明思维的产生，用他自己的话来表述就是：

为了避免任何无益的冷凝，蒸汽对活塞发生作用的那个汽缸，必保持着经常和蒸汽本身一样热……。为了获得必要的空隙，冷凝必须发生在一个单独的容器里，这里的温度按照需要降到足够低的程度，而汽缸的温度却不受影响……

这就是瓦特最早提出单设一个冷凝器，使它与汽缸分离的方案，也是他杰出的发明，甚至认为是一项划时代的发明，至于产生这一发明思维的过程，后来瓦特自己回忆说：

在一个晴朗的礼拜日的下午，我出去散步。从察罗托街尽头的城门来到一块草地，走过旧洗衣店。那时我正在考虑蒸汽机事情。然后来到了牧人的茅舍。这时我突然想到——因为蒸汽是具有弹性的物质，所以能够冲进真空中。如果把汽缸和排汽容器相连接的话，那么蒸汽猛然冲入容器里，就可以在不使汽缸冷却的情况下，仅让蒸汽在那个容器中冷凝了吧！……当这些在我的头脑中考虑到成熟的时候，我还没有走到高尔夫球场。

可见，发明的灵感（现在也有人把它称做“顿悟”）在经过一段艰苦的冥思苦想、反复琢磨之后，确实会在某种轻松的状态下，突然间脱颖而出呢！

随着第一项的改进，很快促使瓦特完成他的第二项重大改进。那就是，瓦特很快发现，那始终保持着同蒸汽一样热的汽缸，里面蕴藏着具有极大动力的蒸汽，而且它产生的蒸汽将不是断断续续，而是可以一直连续不断的。瓦特认识到，“为了不必用水来防止活塞漏汽，为了在活塞下去时防止空气

冷却汽缸，那就必须使用蒸汽的张力作为动力，而不仅仅是使用气压作为动力”。

瓦特说，“在某些情况下，我打算使用蒸汽的膨胀力（张力），它和现在一般的蒸汽机是通过气压去推动活塞做功的原理相同。这样，即使是在不可能获得足够数量的冷水时进行冷凝的条件下，蒸汽机也仍旧可以完成它的工作。”

经过这样一番改进，蒸汽不再仅仅是作为一种辅助的手段被加以利用，它本身成了一种产生运动的积极力量——蒸汽真正成为推动机器的动力，纽科门蒸汽机变成为名符其实的蒸汽机。

1765年，瓦特经过改进后试制出的模型实验以后表明，蒸汽机的热效率比纽科门的蒸汽机提高4~6倍，而耗煤量却节省四分之三。

1769年，瓦特设计出可以“节约火力蒸汽机和燃料消耗”的分离冷凝器，并在这一年为他的这一划时代的发明获得了专利权。作为资本主义大工业动力机械的蒸汽机由此诞生了，工业革命由此成为可能。

让我们来比较一下瓦特改进的蒸汽机与纽科门的蒸汽机有什么根本上的区别。

纽科门的蒸汽机工作原理很简单，锅炉B与汽缸C（同时也是冷凝场所）相通，当汽缸C中充满蒸汽时，冲挤活塞P向上移动，然后从水管W处喷浇冷水，使汽缸冷却，蒸汽冷凝，活塞P下降，带动和它上面相连的杠杆动作。如此反复加热锅炉里的水以获得蒸汽，再通过W不断浇喷冷水以使蒸汽冷凝。汽缸与冷凝器同在一个容器里，受潜热的影响（100的水变成100蒸汽所需的热和100的蒸汽冷凝为100的水时所释放的热），造成燃料的很大浪费而做功的效率很低。

再看瓦特改进的蒸汽机，锅炉B与汽缸E相通，汽缸E中充满汽后通往冷凝器C，再从W处向C喷浇冷水使蒸汽冷却。冷凝器的充汽与冷凝带动与之相连的活塞P上下运动，活塞P再带动和上面相连的杠杆动作。这样汽缸与冷凝器分开，汽缸可以永远保持必须的高温，而单使蒸汽冷凝冷凝器可以不间断的工作。这样不但节省了大量的燃料，也可使蒸汽机的工作不再断断续续，节省了大量的时间，大大提高了效率。

瓦特和罗比森、布莱克这两位学者（罗比森后来也成为一位教授）的友谊非同一般。罗比森在他写的《蒸汽与蒸汽机》著作里曾记叙说，当他将瓦特引见给布莱克的时候，说起自己第一次见到青年瓦特时，就被瓦特的博学和智力敏捷所感动，还说：“我原本只希望找到一位工人，不曾想却碰到了一位哲学家。”罗比森还说：“每当我在工作中遇到疑难问题，就去找瓦特，无论什么问题，到了瓦特的手中，都会迎刃而解。”

至于瓦特，他对布莱克更是充满了尊敬和感激的心情，在他成名之后，他曾说：“我之所以能够有今天，多亏布莱克的巨大帮助。是他教给我物理学的理论和实验的。他始终是我的真正朋友和顾问。”有记载说，瓦特曾经用他那灵巧的双手，制造了一架小风琴送给布莱克，可见感情之深厚。

### 蒸汽机走出实验室

虽然瓦特在成功以后，将他产生单加设置一个冷凝器的发明设想说得那么轻松：只不过是他在一个星期天的下午，在一处安静而又僻静的草地上散

步，从这头走到那头的功夫，就完成了。而事实上，将这一创造性的设想变成事实，特别是成为进入市场的商品，却经历了一段非常艰辛、困难的历程。

瓦特在这一设想成功后，立即动手制作了一台有单独冷凝器的蒸汽动力模型，这个模型的冷凝器总是冷的，并且借助一台抽气机使它始终保持着真空，使它保持着理想的工作状态。而用来加热的汽缸，则用一个汽套使它的热量不致散发出去。这台实验性的模型动作起来，表现出良好的工作效率。于是瓦特确信，根据自己的理论设计的模型制造出来的蒸汽机，一定能超过他曾经修理过的纽科门式蒸汽机，甚至可以预期，它的工作效率将是纽科门蒸汽机的2~3倍。

瓦特为自己改进的蒸汽机制出了模型以后，他就决定要在模型的基础上试制样机。但他在格拉斯哥大学只是实验室的一名仪器修理工。没钱，瓦特咬紧牙关租了朋友的一间地下室，又由罗比森和布莱克提供了一些帮助，瓦特又请了几名助手，就四处去买材料，在地下室里敲敲打打试制起来。

正像有的科技史学家所分析的那样：“发明是一回事，会不会经营利用发明却是另一回事。”

瓦特的蒸汽机图纸是设计出来了。但要使它变成实物，还有相当多的困难和障碍在等待。简直可以说，那需要配备一套齐全的工业设备才能满足制作蒸汽机的要求。首先要有一批既有体力、经验又有充分智力和理解力的工作者，去代替当时只能从社会上搜罗到的各类手工工匠，如钟表匠、白铁匠、水车匠等，才能完成那些有复杂要求的各个机器部件。比如说，蒸汽机的汽缸，必须达到几何作图那样的精确度，蒸汽出口的活塞，必须具有能紧密贴合但又不过分接触的灵敏度，还需要有一些部件必须制作得像手表的齿轮那样精确。这一切，对当时的工艺发展水平来说，都是超标准的要求。岂是几个匠人用手工操作和在市面上随意买一些器材就能制作成功的？瓦特的试制遭到了一次又一次的失败。

不幸的是，每失败一次就报废一批器材，器材报废了就需要再去购买。这样，瓦特就不得不四处去借债。

借的债越来越多，而成功却始终没有看到希望，因为用来做汽缸和冷凝器的器材总也达不到密封的要求，一启动它们就“嗤嗤”地漏气，达不到预期的效果。

瓦特实在无力将这试制工作继续下去了，加上这时妻子又生了孩子，加重了家庭负担，瓦特不得不暂时停止他的试制工作，而接受了另外一项的工作——为修挖一条喀里多尼亚运河进行勘察，绘出线路图，并且在工作中发明了一种简便的测距器和制图机。

瓦特的勘察工作进行得胜任而又愉快，如果不是在这期间出来一位热心的实业家罗巴克，那么，瓦特发明的蒸汽机也许像其他运气不佳的发明家那样，被搁置起来，直到他死后若干年才被发掘，才被认识。

罗巴克本是一位医生，但对办工业很感兴趣，这时他已经拥有了几座工厂和矿场，并且刚刚获得博罗斯托内斯矿场的开采权，排除矿井中的积水成为他迫切希望解决的问题。一天，他在格拉斯大学的布莱克教授那里，谈到矿井抽水的严重性，布莱克向他介绍了瓦特正在试制的新型蒸汽机，预期如果采用这种蒸汽机，将可大大节省燃料，提高抽水的效率。

罗巴克也是懂得科学的人，一听布莱克教授的介绍，立即意识到这是一个很有前途的发明，忙问什么地方可以订购，布莱克却告诉他，瓦特已经停

止了他的试制。

“为什么停止？”罗巴克问。

“因为瓦特为试制他的蒸汽机，负债太多，到了无法再进行试制，甚至无法偿还债务的地步。”布莱克回答。

“欠了多少债？”

“大约总有 1000 多镑了吧？”

“没关系，找来给瓦特偿还债务，我来为他提供继续试制的资金——当然，成功以后，应该有我的一份收益。”罗巴克毕竟已经成为一名精明干练的企业家了。

这时是 1766 年，经过与瓦特的接触，他们签订了一份合同：罗巴克代瓦特偿还 1000 镑的债务，允许瓦特使用罗巴克的卡伦铁工厂设备，向瓦特提供继续研究的资金，帮助瓦特去申请他的蒸汽机专利和推广使用——事成之后，所获得的利润，罗巴克得三分二，瓦特得三分之一。

瓦特很高兴地接受了这一切，他辞去了为运河勘察的工作又回过头来试制蒸汽机。他的蒸汽机正是得到了罗巴克的这种富有远见卓识的企业家的支持和帮助才得以继续进行下去的。

过去人们在介绍瓦特发明蒸汽机的事迹时，往往只写到他在格拉斯哥大学草坪上散步得到了将冷凝器与汽缸分开的灵感为止，几乎很少有人提到罗巴克与蒸汽机的关系。然而写作《18 世纪产业革命》的法国历史学家保尔·芒图却认为，瓦特与罗巴克签订的“这份合同，在蒸汽机史上开辟了一个时代。蒸汽机正是在这种情况下才得以走出了实验室，进入它即将加以改造的工业世界中去，这多亏了罗巴克的大胆创造精神”。

瓦特与罗巴克的合作开始于 1765 年，瓦特于 1769 年获得的“节约火力蒸汽机的蒸汽和燃料消耗”的分离冷凝器专利，就是与罗巴克合作申请到的。不幸的是，经过将近 10 年的努力，瓦特蒸汽机还是没能走出实验室，没能获得走向市场的成功。因为用手工锤打出来的锡制汽缸严重漏水漏气，理想中的真空状态始终未能形成，直到 1773 年，罗巴克的矿井仍然没能得到瓦特所设想的那种高效低耗的蒸汽抽水泵，而且经过这么多年的折腾，罗巴克在经济上也承受不住了，他所经营的矿井由于严重渗水，需要不断排水而花费了很多的钱，这些耗费使他濒临破产的边缘，不能再继续承担瓦特的试制蒸汽机的研究。

瓦特由于体质一直虚弱，影响到他的性格常表现出迟疑、犹豫、懦弱和对自己缺乏信心，每当不利情况发生的时候，罗巴克总是以无比的热情在一旁鼓励他，推动他前进。

因此，罗巴克与瓦特的合作最后虽然未能获得成功，罗巴克并不因此而懊悔、而抱怨瓦特或蒸汽机；而瓦特，他也始终对罗巴克给予自己的帮助怀有深深的谢意，在他临终的时候，他曾说：

我的努力所能达到的成功，大部分应当归功于他（指罗巴克）的友好的鼓励，他对科学发现的关心，他敏于想出这些发现的应用。他对商业和工业有深邃的认识，他的远大的眼光，他的热心的、慷慨的和积极的气质。

由于罗巴克破产的严峻现实，瓦特试制蒸汽机的工作再次中断，他不得不又背起自己的挎包，继续干着开挖运河的测量工作。

也许瓦特是发明家中难得的幸运儿，正在这似乎又到了山穷水尽的时候，出现了另一位有眼光来支持瓦特的企业家——博尔顿，瓦特和他的蒸汽

机进入柳暗花明又一村。

博尔顿在那时已经是一位富有的重要人物，他的父亲是伯明翰的玩具制造人，博尔顿从小就跟着父亲从事商业，同时也受过相当好的教育。他经营的索霍工厂，制造金属钮扣、表链、钢鞋扣等，还有装饰用的铜器如花瓶、枝形烛台、鼎，还有纯金银的和包镀的金银制品、人造金制品和人造玳瑁制品等。他的工场可以容纳 600 多个工人。但劳力太多带来一系列的麻烦，因为一个劳力就是一个劳工，雇佣一个劳工就意味着要准备为他付出相当于能养活他，还有他的妻子、孩子的生活费用的工资。劳力多了，工场的负担就重，所以博尔顿一直在希望能寻找到某种动力，能像纽科门蒸汽机那样自动把水提上去的动力。

说到这里，不得不把话题稍稍扯得远一点儿，介绍一下当时在英国伯明翰市活跃的一个综合性学术组织——月光学会。

说它是综合性的学术组织，是因为参加这个学会的成员不拘一格，既有当时很知名的科学家和哲学家，如当时就很有声望的医生、诗人和哲学家伊拉斯莫斯·达尔文（他是提出进化论的达尔文的祖父），化学家普里斯特利（他发现了氧气），有对铁特别爱好，绰号“铁疯子”的威尔金森（他给了瓦特蒸汽机以关键性帮助，他是一位制造家），有瓦特年轻的同乡，后来为瓦特助手的工匠默多克（他独立发明了煤气灯）；还有前面说到的那位钮扣制造家博尔顿（他是一位富有而又充满进取心的企业家），当然，其中还有这位忧郁而又百折不挠进行发明的瓦特，称他为工程师是后来由于他的成功而获得的尊敬，事实上他当时仍是一名修理仪器的、或为勘测运河而奔走的工人而已。

这样一个包括了科学家、制造家、企业家和新兴的职业工程师的不同身份的人聚集在一起讨论学术上的问题，也议论和研究商业上的合作，当然是一个综合性的学术组织，它反映了 18 世纪工业革命时期出现的科学与技术的合作，是一种历史上少见的新气象。

说它是“月光学会”，是因为这个学会的成员常在月圆之夜，利用皎洁的月光在学会的成员家中聚会，无话不谈，他们的思想活跃和不拘泥于形式的随随便便，以至到了被人看作是一批“狂人”的程度。它是那样富有吸引力，以至美国的富兰克林来到英国逗留的时候，也曾参加过他们的月光学会。

现在我们就讲到那位钮扣富商博尔顿，1766 年，他曾写信给富兰克林，告诉他原来有一个工厂设在伯明翰市郊外的小河旁，工厂的动力就靠小河的流水推动水轮机转动，可是遇到枯水期水轮机就不转了，所以他想建造一座水坝，将山坡上流下的水蓄起来，利用水从高处流下的势能，冲动一个动轮，而这个动轮可以驱动许多不同的机器。但没能得到回音。后来博尔顿又想制造一个蒸汽泵，利用蒸汽推动活塞去加强河水的压力。他还把自己设想的模型寄给了富兰克林，请富兰克林帮助提提意见，出出主意。当时富兰克林已经是一位享有盛名的科学家了，可是也没能得到回音。于是博尔顿打算自己来进行这项实验。

正是在月光学会中，一位学者告诉博尔顿，何必舍近求远，向美国去求教能人呢？月光学会中正有一位研究蒸汽机的工程师，他就是瓦特。这位学友把这个信息告诉了瓦特，建议瓦特务必去拜访一下博尔顿。这样瓦特与博尔顿就成了朋友。交谈中互相得到了很多启发。

博尔顿富有雄心壮志和大胆创造精神。他说他对任何机械方面的改进都

感兴趣，他要使自己的贸易范围年年扩大，要为全欧洲工作，制造一切能够构成一般需要对象的商品：金、银、铜、包金、镀金、人造金、钢、白金、玳瑁……

1767年，瓦特曾去博尔顿的索霍工厂参观，瓦特很赞赏那里的冶金工作完善；而博尔顿，对瓦特正在探索的蒸汽机更是向往不已。第二年，博尔顿又专门请瓦特到工厂里来，和瓦特进行过仔细的探讨。

博尔顿产生了强烈地愿望要与瓦特合作，1769年，他写信给瓦特详细表达了自己的设想。他说：“我认为要充分利用您的发明，就必须有钱，必须十分细心地去实现和拥有广阔的贸易关系。要保证您的发明投产成功，就决不能让一般的机匠去制作，因为那些无知又没有经验的机匠，在设备缺乏的情况下，只会把您的发明做糟。……而我们可以专门招雇并培训一些优秀的工人，把最好的工具交给他们，然后让他们去制作这世界还只有这唯一一台的蒸汽机。这样，在执行过程中，我们可以节约大约百分之二十，而质量则可以达到请专门的科学仪器制造者才能制出来的水平。”

瓦特当然愿意再次获得机会。但是关于蒸汽机的制造，他和罗巴克签有合同。这事需要与罗巴克磋商。

罗巴克表示他可以考虑接受这项建议，不过要明确规定博尔顿只是沃里克、斯塔福德和德比三个郡的专利证让受人对这个条件，博尔顿感到不能接受，他认为这是对他的索霍工厂的蔑视，更没有理解他在对瓦特这一新发明上所寄托的希望。他愤愤地说：

“我的意见是在我们工厂旁边，在我们运河岸上，建设一个工厂，在那里，我想安置制造机器所必须的全套设备，而且这个工厂可以向世界上提供各种大小机器。……仅仅为三个郡而制造，那就不值得这么费事了。值得费事的目的，是为了全世界制造。”

不过后来事情的发展给博尔顿提供了可以继续这个计划的机会，因为罗巴克破产了，他欠博尔顿的1200英镑。博尔顿很大方地提出他可以放弃罗巴克的这笔债务，只要罗巴克将他与瓦特合作的合同转让给他。事情就这样定下来了，博尔顿成为第二位与瓦特的合作者，他俩签定了上次与罗巴克签订的内容相同的合同。

有人说，博尔顿这一次得到了极大的便宜，他只用有限的金额就廉价购买了一项具有无限价值的权利。但当时，人们一般认为，罗巴克与瓦特签定那项合作生产蒸汽机的合同，只不过是那“一文钱都不值的机器”，因而不管博尔顿对这一发明抱有多么大的信心和希望，持怀疑态度的人仍然是坚信“那一切都还是只是个影子，是纯粹的想象，要使它实现，还需要很多的光阴和金钱”。

博尔顿排除掉所有的怀疑和议论，坚定地要与瓦特合作。于是，瓦特在罗巴克那里试制的机器，因为没有达到预期的效果，已经被搁置了多时，现在它们被拆卸下来，运到了博尔顿的索霍工厂，瓦特立即着手进行修复工作，通过博尔顿所培养的熟练工人的帮助修理，终于在1774年11月，这台瓦特精心设计的蒸汽机能接近正常的运转了。

通过在罗巴克工场和在博尔顿工厂工作的比较，瓦特开始觉察出“工场制”和“工厂制”上许多不易觉察的细微差别，这两者决不能混为一谈。博尔顿为瓦特所提供的，是大工业的资源以及几乎是大工业的权力。

瓦特取得了初步的成功，可距离走向市场还相当遥远，但是他们于1769

年申请到的专利期限只有 14 年，现在已经过去了 5 年，在未来的八九年时间里，瓦特和博尔顿还需要付出很多的努力和投资，而且蒸汽机在当时已不是什么神秘的东西，相似发明的竞争和程度不同的模仿制造对他们来说，都是可怕的威胁。于是，瓦特决定向议会提交请求延长他们专利权期限的申请。

议会组织了一个负责调查的委员会来核实瓦特的申请。他们听取了瓦特第一位合作者罗巴克的证词，罗巴克以第一位认识到这项发明实用价值的身份，很公正地指出：

（瓦特发明的）蒸汽机和现在通常的火力机相比较，消耗同样多的燃料，至少可以多做一些倍的工作……凡是需要动力的地方，无论用于什么用途，采用这种蒸汽机都是有利的。

瓦特的第二位合作者博尔顿也提出证词说，在试验、建造、试用方面已经花费了 3000 多英镑，预计全部的费用至少要达到 1 万英镑。可是这笔花费，如果将它和对英国和对全世界可能带来的利益相比，并算不得什么。

经过这番调查，瓦特的专利证期限被延长为 25 年。在批准的法令上是这样说的：

……鉴于瓦特对蒸汽和蒸汽机进行研究，以便改良这种非常重要的机器，已经费了好几个年头并耗费了他的大部分资财；鉴于通过这些研究，已经实现了非常重要的改良，但由于制造那样复杂的机器所固有的困难，以及由于必需的试验所要求的长时间，以致他不能在 1774 年年底以前完成他的发明；鉴于要用必要的细心来制造这些机器以及能以公道的价格出卖机器，大概要花费很大的款项来组织工厂和配备适当的设备；又鉴于要使相当多的公众能够清楚地了解发明物的效用及使用发明物与自己相关的切身利益，这也还需要有好几年的时间，所以上述专利证书所定的期限可能在詹姆斯·瓦特按照他的劳动和他所发明的价值来收获利益之前完全消失……，因此规定……

下面是规定延长专利期限的年限。

又过了几年，瓦特的专利还没有能带来任何利益，而它的费用甚至已经达到了四五万英镑。幸亏博尔顿并没有放弃他的其他工业，他靠这些工业的收入用来弥补蒸汽机生产上的费用；瓦特也搞出了另外一个叫做“拷贝机”的小发明，它的收入投入在蒸汽机上了。他们几次又都到了几乎山穷水尽的地步。在 1778 年和 1780 年，博尔顿不得不相继卖掉一部分从他父亲和妻子那儿得来的财产，有一次到了圣诞节差一点就没法付还到期的债务，甚至发不出工资的地步。1782 年瓦特在忧虑中甚至说：“如果他们（指债权人）愿意放弃对我的各种债权，我几乎想把我自己所有的一切都交给他们，再把我的命运交给上帝去安排。我不能在我现在所处的忧虑状态中生活下去……”

瓦特从小体弱多病，性格懦弱悲观，又不善经营，这样长期在债务中打滚不得翻身，他简直是受不了啦！

幸而在这时，瓦特从材料方面得到了后面我们将要介绍的“铁疯子”威尔金森的帮助，又从博尔顿的工厂里发现了一位聪明能干，能够很好配合的助手——工人默多克。坚持到 1786 年到 1787 年，索霍工厂终于偿还了所有的债务，并且开始赢利。

至此，瓦特才从几乎是山穷水尽的困境，走到了柳暗花明又一村的光明境地。难怪有的史学家认为，瓦特有幸遇到了两位有眼光、有魄力的企业家

罗巴克和博尔顿，才使他的发明终于走向了社会，进入了市场。否则，他的命运也许会像其他一些郁郁不得志的发明家如帕潘，以及特里维雪克或菲奇那样，带着自己的发明和郁闷不平告别人间。

要知道，发明家常是比较清贫无资金，又比较内向不善于经营开拓市场的那样一种人。

因此，科技史学家们在瓦特蒸汽机的发明成功的事情上，认为罗巴克和博尔顿值得与瓦特分享光荣，即使不能分享发明的光荣，至少也应分享使发明从理论上的、图纸上的设计转化为实物、转化为产品进入市场的光荣。要知道，为了达到这个目的，两人都不惜付出了几乎倾家荡产的代价。

瓦特很感谢，也很钦佩博尔顿给他的支持，感谢他有足够的勇气和远见的胆识进行这种带有极大风险性的投资。他说：“博尔顿先生的积极性格及其深信未来，是我的天生胆怯和平衡的积极力量。”

尽管罗巴克和博尔顿这两位富有远见又具有魅力的企业家给了瓦特以经济上极大的支持，哪怕因此而导致破产也在所不惜，坚信瓦特蒸汽机能取得成功，并且正如博尔顿所夸口的，“要为全世界生产动力”，然而，他们都未能摆脱在试制生产瓦特蒸汽机的过程中所遇到的困扰，这困扰延续的时间前前后后长达约 20 年对罗巴克和博尔顿来说，缺的不是金钱，因为他们有足够的经济实力；对瓦特来说，缺的也不是原理或技术设计，这两个方面都是过硬的。

那么，蒸汽机走向成功还缺少的一环是什么呢？

是材料，是加工的工艺。

虽然人类在瓦特发明蒸汽机之前已经由铜器时代进入了铁器的时代，但对于铁的加工仍是相当原始、相当简陋的手工生产方式，而且有相当多的工具和简单的机械还停留在木制阶段。

拿 18 世纪初出现的纽科门蒸汽机来说，仍旧是工匠出身的手艺人用手工攒合起来的工匠工艺水平的产物，比中古时代的制作水平高不了多少。他的那种蒸汽机，28 英寸口径的汽缸和活塞之间压根儿没有能紧密吻合，而存在着 0.5 英寸左右的间隙。为了弥补纽科门蒸汽机的这种缺陷，人们在活塞的顶部浇一层水来封闭缝隙。这样做的结果，蒸汽机虽说可以工作，但却降低了机器的效率，因为水使汽缸的温度降低，势必要浪费其中的一部分蒸汽。

瓦特加以改进的蒸汽机，目的就是要使汽缸始终保持着它的高温，以免蒸汽散失，造成燃料的浪费，所以不能再沿用纽科门蒸汽机中采用的水封闭活塞的手工艺土办法，它要求一种精密的机器造型，它要求有金属造成的汽缸，汽缸的内壁必须光滑，才能使活塞与汽缸之间吻合得十分严密而又能活动自如；它要求金属与金属的各个衔接的地方必须衔接得十分坚固，而“关节”处又能进退灵活。正是这种材料和工艺的严格要求使瓦特试制蒸汽机过程进展不顺利，用手工锻打出来的金属汽缸和各种部件，总是协调不好，达不到预期的要求，汽缸与活塞之间吻合不严密，一工作就“嗤嗤”地漏气。

17 世纪中叶以前的英国，当时是一个缺铁的国家，它的某些附属工业所需要的铁，一般是从瑞典或俄罗斯进口的。英国并不是缺铁矿，铁产量低的原因是因为英国一直没有找到适合的炼铁的燃料。传统的炼铁方法是将从森林中砍伐出来的树木烧成炭，用炭去炼生铁，为此英国已经损失了大片的森林，而随着森林的消失，炼铁的高炉难为无米之炊也悄悄消失。

直到 18 世纪才陆续有人申请用煤或用煤加工出的焦炭作为炼铁的燃

料，这样铁的生产才逐渐出现一些转机。

这期间，在英国出现了一位对炼铁很有贡献的工业家，也是对瓦特蒸汽机成功作出关键性贡献的人，他是威尔金森。

威尔金森 1720 年出生，20 岁那年继承了父亲的产业而经营炼铁厂，并自己建造了一座炼铁厂。40 岁左右的时候，他也是当时“月光学会”的成员之一，他本人算不上是发明家，但却是一位关心发明，善于敏锐地觉察到新发明的实用价值，并且为着自己的利益而将新发明转化为现实的人。

威尔金森在承接制造大炮加工任务的时候，发明了一种钻孔机给大炮钻孔，钻的孔的精确度可以达到所需要的精密要求，可以将铁板与铁板之间通过铆钉而互相紧密地联接成不留丝毫空隙的整体。

在月光学会上，威尔金森了解到瓦特的蒸汽机，在试制中多次失败，都是由于手工锤打的锡制汽缸，总是“嗤嗤”的漏气而不能达到真空要求。这一回，威尔金森为瓦特提供了一个蒸汽机的汽缸，这汽缸的外形制作是如此精巧，内部采用镗床镗得十分光滑，是手工锤打所望尘莫及的。特别是用钻孔机钻出的小孔，使汽缸与其他部件的接合达到了紧密而不透气的要求。瓦特所追求和要求的真空达到了，他的蒸汽机完全试制成功了，这时已是 1774 年。研究 18 世纪产业革命历程的历史学家甚至认为，如果威尔金森没有首先供给瓦特以他所需要的金属汽缸，那么瓦特就无法建造出他的蒸汽机。

甚至在《大不列颠百科全书》中，威尔金森不但占有一个条目，条目里还明确写下：他“发明了一种钻孔机，对瓦特蒸汽机的成功起了重要作用”。

正是由于蒸汽机的汽缸制造工艺问题得以顺利解决，蒸汽机达到了预期的要求，威尔金森立即向瓦特定做了一台蒸汽机，这台蒸汽机不是用来在矿井中提水，而是用来给他的高炉鼓风。这是瓦特蒸汽机第一次由提供抽水的动力发展为为其他的目而提供动力。

瓦特的蒸汽机由此为开端顺利地走入了市场，并由于它所具有的明显的优势，而迅速被社会所接受。

至于威尔金森，由于蒸汽机的制作和生产他也成为瓦特、博尔顿的亲密伙伴。因为在此之后所生产的蒸汽机的汽缸基本上都是由威尔金森的工厂所提供。

从 1775 年瓦特、博尔顿合作的索霍工厂开始向伯明翰附近的布卢姆菲尔德煤矿提供一架蒸汽抽水机，到 1795 年，20 年内，据瓦特的儿子给顾客的信中所说，这 20 年来他们生产的蒸汽机，“其中只有不到三台或四台的汽缸是别的厂家所制造，其余都是由威尔金森的工场所提供的。”

由此可见，一个创造性的发明设想，如果当时的社会生产不能提供满足这一发明要求的材料和工艺要求，那么，超前的设想就会付诸流水，或被束之高阁。所以，虽说威尔金森与瓦特蒸汽机的发明没有一点关系，但是，最终使瓦特蒸汽机从试制失败走向成功，与他提供用钻孔机加工出所需精密的汽缸密不可分。而且，使瓦特蒸汽机首先开辟其用途的，也是从威尔金森开始的。

威尔金森是一位性格上很有特点，事业上又很有开拓精神的工业实业家。关于他的故事，及他在工业革命中的其他贡献，下面我们将继续介绍。

我们仅仅从威尔金森在材料和制作工艺上给了蒸汽机以关键性的帮助，而瓦特蒸汽机又在动力上改变了威尔金森炼铁工业的规模和面貌（威尔金森的炼铁厂后来发展为铁制造工业了）这一点来看，我们已经可以体会到大工

业生产之间彼此的依赖与合作，已经突破了手工小生产各自为政的自给自足方式，而形成了一种新的，又分工又合作，并且是大工业生产的相辅相成关系。

从 1774 年制成第一台蒸汽机算起，到 1780 年瓦特 44 岁的 7 年里，瓦特和博尔顿一共产了 40 台蒸汽机。不过博尔顿经营蒸汽机的方法很不同一般，每台蒸汽机并不是像我们现在理解的那样，是将一台机器完全造好经过检验合格以后才出厂的。当时他们只是接受需要定购蒸汽机厂家的定货，而后向定货厂家提供图纸，至于蒸汽机的各个零部件，则根据图纸上的要求分别向有关的翻砂厂家和炼铁厂家去定制，比如汽缸，瓦特和博尔顿就常推荐定货厂家到威尔金森的工场去定制，因为他那里的钻机的精确度可以说是无敌的。至于瓦特和博尔顿合作经营的索霍工场，主要由博尔顿承担提供技术熟练的工人和加工制造那些需要特别精心制作的机械零件；等一切部件都准备好了，由瓦特去担任技术指导，博尔顿则组织工人安装机器。所以，博尔顿将瓦特和自己称作是“蒸汽机的设计人和安装人，也是利用他们的发明物的厂家的企业顾问”。至于收费，他们只向买主收取购买机器的材料、制作和安装费用；至于利润，他们要求买主从比使用同等马力的火力机所获得的节省燃料费的三分之一，比如说，如果使用市面上一般的具有同等马力的火力机一年要花费 500 英镑的燃料费，现在用瓦特蒸汽机所用燃料只需花费 200 英镑就够了，那节省下来的 300 镑燃料费当中，分出 100 英镑给瓦特和博尔顿他们，而使用的厂家还可以净得益 200 英镑。

根据瓦特所获得的专利权，瓦特他们定出的这种专利收费标准，既确保了瓦特的发明是确实有效益的，也合理地保证了发明者和使用发明物的厂家双方收益，按理说是公平而又合理的。

但是，一旦等到使用了瓦特蒸汽机的厂家确实从使用这种蒸汽机获得了收益，而这种收益又已经进入厂家腰包的时候，再要他们从已经进入腰包的利益中拿出三分之一的利润来付给蒸汽机的发明人瓦特和蒸汽机的安装人博尔顿的时候，他们就舍不得了，特别是康沃尔郡的矿主们，他们联合起来，在全郡开展了一个请求议会取消蒸汽机专利权的运动。为此，瓦特和博尔顿的索霍工场，为保护自己的专利权，与这个郡的矿主们打了好几年的官司。瓦特对于矿主们这样无视他的发明的专利十分愤慨，他曾说：

他们控诉我们设立了一种垄断，但是，即便它是一个垄断，可这个垄断毕竟使得他们的矿山比以前出产得更多了，收益也更多了……他们说，因使用机器而必须偿付使用费，对他们来说是不方便的，那么，如果我将裤腰上小钱袋的钮扣扣上，这对那些想摸偷我的钱包的人来说，也是不方便的……我们没有权利强迫任何人使用我们的机器。如果这些家伙竟来向议会控诉他们完全可以避免的不方便，议会对此将如何回答呢？

诉讼进行了好几年，瓦特和博尔顿决不妥协，最后他们终于胜诉，一下子收到了长期拖欠的应付使用款 3 万英镑之多。

但是，关于蒸汽机的竞争却日益激烈，因为用蒸汽机给矿井排水这个领域已经完全被专利权所包括，其他试图生产蒸汽机的人必须动足脑筋探寻蒸汽机作为动力的新用途。

由于矿井的积水都在井下，当人们为利用蒸汽机去抽提矿井的水的时候，活塞只需作上下垂直移动，利用可形成的真空和大气压力，就可达到将矿井中的水挤压抽取到井上的目的，但是如果指望蒸汽机作为其他用途的动

力，那么，垂直运动就显然是达不到这个目的的。

当时人们已经有了用水力去推动的磨、纺纱机等等，都是利用大小不同的齿轮和曲柄，将水力从直线运动转换成旋转的运动才能作为动力使用。但是怎样才能达到使蒸汽机的活塞杠杆所进行的直线运动转换成圆周运动呢？

当然，从古老的机械传动结构上去寻求启发，采用曲柄连杆，也就是类似古老的磨刀匠的踏板轮或古老的磨的结构，完全可以将垂直运动式往复运动这样的直线运动，转变为旋转运动，也就是圆周运动。有记载说，瓦特本来也想到可用曲柄和偏心轮的方法将杠杆的往复运动转变为圆周运动，并且在实验上也已获得成功，但是这个想法被工厂里的一个工人泄露出去了，并且很快被另外的一个竞争者抢先申请到专利权。瓦特不得不另辟蹊径。

也有材料说，瓦特觉得这种转变的方式没有什么创新，为这个去申请专利，就好比对一把本来是用来切面包的刀，现在申请专利说可以用它来切干酪一样，不见得能被获准享有发明的专利权。

在索霍工厂里，博尔顿和瓦特培养了一批极好的工头做为自己的助手。其中有一位工头就给了瓦特的发明以很有作用的暗示。这位工头的名字叫默多克。

默多克 1754 年生于苏格兰，是一个水车匠的儿子，他把请求批准参加到索霍工人的行列当作是一种荣誉。入厂以后，因为聪明、勤劳有发明力而受到青睐。他确实不是一般的工人。1792 年，他第一个认为煤中有着比煤作为单一的固体燃料更多的东西，他将煤加热提炼出煤气，并且发明了用煤气照明的煤气灯。煤气灯虽然在大约一个世纪以后被爱迪生发明的电灯所取代，但这种煤气后来成为我们现在所使用的煤气。

当然，就默多克对蒸汽机的贡献来说，他也发明了许多与蒸汽机有关的机件。

默多克也是“月光学会”的会员，当然有更多的机会与瓦特共同探讨关于蒸汽机的改进设计问题，当时最迫切的是如何设法将蒸汽机的直线运动改变为圆周运动。默多克认为，如果在活动杠杆的一端带有一个小齿轮，小齿轮随着活塞的上下活动而转动时，它的齿轮再带动与之相连的大直径的轮子旋转，就可构成旋转运动。当然，也可以把齿轮套齿轮的转动结构设想得更复杂些，总之是像行星绕着太阳转动那样，让小齿轮的转动带动着大齿轮的转动。默多克还为这一设想起了一个美妙而又形象的名字叫：“行星的运行”。

瓦特很赞赏并且接受了这个设想，1781 年，瓦特申请了他的第二个关于使蒸汽机进行圆周运动的专利，设计出了“行星齿轮机构”等五种构件，还包括增加一根连杆，使活塞在一进一退两个动作时都能推动连杆动作的“往返作用”，使蒸汽机工作的效率提高一倍。

默多克后来成为索博工厂中负责安装、检查、修理蒸汽机的工头，在《简明不列颠百科全书》及阿西莫夫著作《古今科技名人辞典》中，都为他单立了条目，认为他也是一位发明家。

1784 年，瓦特又根据他发现的“瓦特的平行四边形”作用，申请了“平行连杆机构”专利权。1788 年，又发明了离心调速器和节气阀；1790 年，又完成了汽缸示动器的发明。

到此为止，瓦特完成了对蒸汽机的整个发明过程。

瓦特对蒸汽机的主要发明的重要性，他的专利的广告性，以及他与合作者善处的策略，这一切保障了瓦特赢得从 1769 ~ 1890 年在蒸汽机上享有的盛

誉，尽管在他之前已经出现了在生产上加以应用的蒸汽机，而在他的同时代也有不少人蒸汽机进行过研究，提出过各自的发明，但最终人们（社会）最终还是承认瓦特是蒸汽机发明人。

蒸汽机并不创造大工业，但是，它为大工业提供了动力。特别是当 1784 年瓦特对自己提出的将蒸汽机由直线运动转变为圆周运动的专利申请时，已经预见到蒸汽机必将转化为一切机器的动力的光辉前景。他在那份申请专利的说明书上提示说，利用蒸汽机的活塞联结杆或冲模连接起来可以锻造铁和其他金属的可能性。

就连 19 世纪的马克思，在他的为写经济学而写的笔记《机器·自然力和科学的应用（蒸汽、电、机械的和化学的因素）》中，也高度评价了瓦特的贡献。马克思强调指出：

瓦特的伟大天才表现在，他在 1784 年 4 月获得的专利说明书中，预见到蒸汽机的一切可能用途，并指出利用它来建造机车、锻造金属的可能性。

确实，瓦特对蒸汽机的改进以及以后所作出的种种发展，从技术上说都是十分重要的发明。但他更大的贡献，也可以说是他的天才，是表现在他的思想的开拓和活跃。他将蒸汽机的功能从希罗的蒸汽旋转球玩具，从巴本烂骨锅的烹调炊具，以至从萨弗里和纽科门的单纯提水工具等功能单一的、狭隘的思路中解放出来，不再将蒸汽机说成是用于某一特殊目的的发明，而是极力设法使它成为可以用之于任何一种领域、任何一种机器上的动力。这种动力使自己的发展犹如自己所任意支配的力量一样不可抵抗，它使一切工业都作用一种共同的动力，尤其是使用一种人创造的动力，这就使一切工业的发展不再像风力、水力那样受自然条件的制约，又都要服从一般的法则。蒸汽机的改善，对于采矿、冶金、纺织和运输等各个方面都产生了同样巨大的影响，这种影响促使社会的生产面貌发生了革命性的变化，同时也不可避免的渗透到社会各阶层的人们的生活和观念的变化中去。

它终于带来了在英国出现的工业革命，而且不断扩大它的影响，在一切文明国家产生了不可估量的促进作用。当然，也带来了不少新问题。

然而不管怎么说，人类从此进入了一个新的时代，人类的文明也由此发展到一个新的阶段。至于它所产生的积极影响和消极影响，则要由后人来不断解决，历史的巨轮不以人的主观意志为转移，而是按着事物发展的规律阔步前进！

### 包尔祖诺夫的遭遇

在谈到蒸汽机的发明时，前苏联曾为他们的俄罗斯技师包尔祖诺夫大声疾呼，并且列举了他的发明和他的坎坷遭遇。

包尔祖诺夫 1728 年出生于俄罗斯的叶卡德琳堡，父亲是一个士兵。父亲将少年的包尔祖诺夫送到一个工厂学校里学习，同时干着“机械学徒”的活儿。18 岁那年，他被派到阿尔泰的柯雷文—伏斯克列森工厂，希望在今后能够担任采矿、熔炼、冶金等工作。

包尔祖诺夫来到工厂以后，看到那里的机器都是由水轮推动着慢悠悠的转动，于是想到要创造一种蒸汽发动机去代替那粗陋、笨重的水轮。用他自己的话说，就是要“推翻水的领导权”。为了实现这个伟大的理想，并证明小小的蒸汽机可以具有比水轮更多的优越性，他先从用在冶金炉旁的鼓风机

开始革新，他发明了一种圆筒形鼓风机。

这种圆筒形鼓风机利用蒸汽力去推动活塞鼓风，不过和欧洲当时研究的利用蒸汽机工作的原理恰好“相反”，在那些蒸汽机里，发明家们都是利用蒸汽膨胀时产生的张力，去推动活塞，而在包尔祖诺夫设计的蒸汽圆筒鼓风机中，却是利用活塞去推动空气，产生气流。这种气流当然比旧式风箱靠一推一拉产生的气流要强大得多，它能一直透过高高的炼铁炉里的矿石层和炭层，使它们充分燃烧达到炽热的程度，提高冶金的生产效率。

接着，包尔祖诺夫决定制造一部“火力机”，它“能够按照我们想要它做的工作来调整”。

1763年，包尔祖诺夫向他工作的柯雷文—伏斯克列森工厂厂长提出他的蒸汽机设计。按照包尔祖诺夫的想法，这部机器和一切只用来抽水的抽水机不同，应该能够保证不间断的工作。

在当时，包尔祖诺夫的设计被送到彼得堡，由五等文官什拉吉尔审查，审查以后，什拉吉尔批示说：“……他的这种创见应该作为新发明受到推崇。”

于是，包尔祖诺夫的设计有幸可以投入试制。由于当时庞大的机器如水轮机之类，全部都是由木头制成的木结构，而包尔祖诺夫认为，作为蒸汽机，应该全部由金属制成。根据当时生产的工艺条件，要想一步就造出合格的各种型式的金属部件，工艺过程是很复杂也是很困难的。所以包尔祖诺夫打算先造一部“小型”的蒸汽机试一试，而他的上级却认为，造“大型”的机器和造“小型”的机器并没有什么根本的差别，要造就造一个真家伙出来可以马上应用。于是包尔祖诺夫只好带着两名青年学徒和几个工人，在没有任何其他帮助的情况下，就开始建造自己设计的大型蒸汽机。它是一台有三层楼房那么高的巨大的蒸汽机，建成以后，可以同时向10座炼铁炉供给冶炼时必需不断补进的帮助燃烧的空气。

根据文献的记载，这台蒸汽机的工作原理大体上是这样的：水在金属锅炉里烧沸，蒸汽通过分汽装置分别从管道中通向两台立式汽缸里，汽缸里的活塞受到蒸汽的推动，将动作传到与活塞相联接的杠杆上，而这些杠杆的另一端与风箱的活塞直相连接，这样，汽缸的活塞不断动作，通过杠杆与蒸汽活塞相连接的风箱活塞也不断推拉，起到不断向炼铁炉送风的作用。

据说，包尔祖诺夫还研究出了给锅炉自动添水的装置。和维持蒸汽机不间断地动作的装置，使他设计的蒸汽机的全部零件都能够经常“自己保持运动”。

1766年5月，包尔祖诺夫设计的蒸汽机终于制造成功，不幸的是，5月6日那天，包尔祖诺夫在异常繁重的劳动和穷困的折磨下死去了，他只活了38岁。

包尔祖诺夫去世几天以后，这台蒸汽机才正式启动。这台蒸汽机在开始的头几个月里，它为炼铁炉送去鼓风，工作运转良好。可是后来发现，活塞和汽缸之间吻合得不那么紧密，他那无知的上司，按照手工业式的思维方式，下令在活塞上面包上一层桦树皮，以消除活塞与汽缸之间的空隙，结果当然更糟，因为“树皮极不驯服，有孔的地方开始大量流水”。

1766年11月10日，也就是这台巨大的蒸汽机工作了大约6个月的时间，由于锅炉是用铜板铆接的，技术不过硬，产生严重的漏水现象，它被迫停止工作。

1779年，阿尔泰工厂的领导下令：“把这个火力机器拆毁，把装置这部

机器的工厂毁掉，把林料用到适用的地方。”于是，包尔祖诺夫的蒸汽机和他本人一样，彻底在地球上消失了。那片地方成为一片废墟，只在民间仍将它称为“包尔祖诺夫瓦砾场”，表达了俄罗斯人民对包尔祖诺夫的怀念。

据记载，包尔祖诺夫设计的蒸汽机模型，早已复制出来珍藏在巴尔纳乌尔矿业博物馆里。

由前苏联科技史学家奥尔洛夫主编的《俄罗斯科学发明史话》中，相当详细而又感慨万分地记载了包尔祖诺夫的业绩和他发明的蒸汽机，认为它是“全世界第一部工业各部分都可以应用的蒸汽机，在技术发展史上打开了一个新时代。”

不过从对包尔祖诺夫的介绍中，我们没有找到他发明蒸汽机的思路。从简短介绍的它的结构看，用蒸汽推动活塞，而活塞作为杠杆的一端，通过杠杆去带动另一端的活塞去给鼓风机送风，它的结构似与纽科门蒸汽机的结构相似。包尔祖诺夫生活在18世纪，俄国已经经历了彼得大帝（1672~1725）的改革，俄国对西欧的文化、科学和技术已经有了交流。因此，或许包尔祖诺夫发明的蒸汽机也曾受到过一些西欧的科学文献记载的启发，当然，这也并不抹杀包尔祖诺夫在蒸汽机的设计、研制和发明上凝聚着他自己的智慧和创造。它同时还表明，在那个时候，在西欧以外，与瓦特1765年开始的对蒸汽机的研究同步，也曾有别的国家、别的民族对蒸汽力的利用进行过研究，也曾经花大力气制造过蒸汽机。

当然，也不必回避，在西方，当介绍蒸汽机的这段发明史时，既没有人提到在18世纪的俄罗斯曾经建造出那么大型的蒸汽机并投入生产实用，更没人知道包尔祖诺夫其人，造成这种结果，一方面是由于这种发明只不过是昙花一现，未能得到社会的承认，而更主要的一主方面，正如俄罗斯科技史学家奥尔洛夫所慨叹的那样：“为什么俄罗斯发明会给埋没，它的天才的发明家的姓名也给忘却呢？”“这要怪当时俄国当政的人们。他们不认识也不热爱自己的国家和自己的人民，他们只知道摹仿别人的习惯和时尚，拜在外国的‘新奇事物’面前。”这种分析确令人产生有“一针见血”的同感。

从上面介绍的包尔祖诺夫设计蒸汽机的过程中，我们还可以看到，在当时的沙皇俄国，官僚主义十分严重，什么都要经过官员的审查批复，而那帮官员其实什么也不懂，成事不足，败事有余。相比较来说，在当时的西欧，他们已经经历了资产阶级革命，资产阶级已经获得他们的权利，虽然他们在自己的个人奋斗中都经历了不同的艰难困苦和坎坷曲折，但一般来说，那大多是来自于经济实力方面的较量，而对自己所感兴趣和十分热爱的发明事业，尽可能独立自主地去充分发挥自己的聪明才智，去钻研试制，而不致于受到这样那样来自官僚主义的无知的干预。

将瓦特蒸汽机的命运与包尔祖诺夫蒸汽机的命运相比较，每个人都可以按照自己的体会从中得到某些启迪。

## 新的动力装置

### 内燃机的发展

内燃机是相对于蒸汽机来说的。蒸汽机是利用煤的燃烧来加热锅炉内的水，使水变成蒸汽，且蒸汽具有较高的压力。将这种蒸汽引入气缸，从而推动活塞，使曲轴旋转。因为煤是在气缸外面燃烧，所以可以说蒸汽机是一种“外燃机”。由此我们可以推想，如果用某种“适当”的燃料，让它在气缸内燃烧，以推动活塞，使曲轴旋转，就可以称为“内燃机”了。

究竟需要什么样的“适当”燃料呢？不难想象：首先，燃料要能方便地送进气缸，最好能像空气一样，能被吸进去；其次，在气缸里易燃、好烧；第三，燃烧后气体要能方便地从气缸内排出去，不留残渣，否则气缸里将很快被残渣占满，而且活塞是在气缸内往复运动的，残渣会加剧活塞和气缸的磨损。这是最基本的三条。除此之外还有一些其他要求，如这种燃料容易获得，携带方便，使用安全等。但只要能满足以上三条，内燃机的设想即可实现。

人类的生产实践和科学试验使符合上述三个基本条件要求的燃料一个一个地实现了。最早出现的是煤气。煤气是将木炭或煤置于通风不太好的炉子里燃烧而产生出来的一种气体。它的主要成份是一种容易燃烧的一氧化碳气体。一氧化碳燃烧后生成二氧化碳，仍是气体，一般没有什么残渣。所以煤气是满足上述要求的。

正是在这样的条件下，1866年，德国人奥托创制了第一台能够实际使用的煤气内燃机。这台内燃机除了有气缸、活塞、连杆、曲轴、飞轮外，与蒸汽机不同的是：气缸上有两个蘑菇形的气门，一个为进气门，另一个为排气门。为了定时开启这两个气门，在内燃机内设置了一根由曲轴带动的凸轮轴，对应每个气门，凸轮轴上就有一个相应的凸轮，当凸轮的较多部位转到与气门杆的端部接触时，气门便被推开；当凸轮较高部位转过去后，气门便在气门弹簧的作用下关闭。

奥托的内燃机在当时可算得上是最出色的动力机械了，本身小巧紧凑，运转较平稳，费用较低。但在当时却未能得到广泛采用，这主要是由于它需要一个较大的煤气发生炉给它提供煤气。因此，在重量、体积和起动前的准备工作等方面与蒸汽机相比，优越性就不太多。加之内燃机刚出现，故障较多，人们对它的兴趣也就不大了。

事隔不久，另一种比它好的内燃机出现了，这就是现代汽车上装用的汽油机的原型。当时，好几个国家都先后有人造出了这种内燃机。不过，较有代表性和很快得到实用的是1882年由德国人戴姆勒造出的汽油内燃机。

从汽油内燃机这一名称，即可想到它用的燃料就是汽油。将汽油用于内燃机，首先遇到的是如何将液体的汽油与空气均匀而迅速地混合起来，形成很好的可燃混合气，供给内燃机工作。为此戴姆勒创造出了一个化油器。化油器的基本原理就是利用内燃机进气过程中，气流通过化油器中的一个“喉管”将汽油吸出并吹散，而形成混合气的。

戴姆勒的汽油机转动起来了，这条惊人的消息轰动了欧洲。这台汽油机创造了当时令人难以置信的高转速——每分钟1000多转。这样的转速在我们现在看来实在很平常，但那时人们所见过的只有每分钟200多转的蒸汽机，

自然认为这是十分了不起的事了。

石油里的汽油可供汽油机用，剩下的部分还有没有可作内燃机燃料的呢？新的探索又开始了。

石油加温后，汽油被蒸馏出去了，再将温度升高一些，另一种油——柴油又被蒸馏出来。柴油不易蒸发，也难以用气流来吹散它。要使它与空气形成易燃混合气，只好另找途径。

1893年，一个叫狄赛尔的德国人首先造出了一台用柴油作燃料的内燃机，并于1897年制成压燃式的柴油及其喷油装置。后来，由于制做经验不成熟却忙于向各国推销，第一批20台售出后纷纷退货。但是柴油机固有的优点却得到不断完善和发展。在1904年已有近千台50~100马力的柴油机在使用。1908年至1914年间，有6个国家的潜艇采用柴油机能驱动，这是柴油机取得发展的重要标志。

## 水轮机的发明

福内昂受到他的老师——圣埃廷矿业学院的伯丁教授的影响，对水轮机发生了兴趣，于1823年开始研究水轮机。1824年，伯丁教授根据拉丁文turbo（意为漩涡）杜撰了“涡轮机”这个词。福内昂于1827年开始使用涡轮机。这种机器是非常需要的，因为蒸汽机只适用于煤便宜的地方，而水车又笨重，效率又低，也不能满足工业日益增长的需要。法国工业促进会悬赏6000法郎，鼓励人们研制有实用价值的水轮机。当时有4个竞争者。这笔奖金于1833年颁发给了福内昂，因为他研制成功了有50马力的水轮机。

福内昂的机器是一种向外流的反击式水轮机，转子上有30个弯曲的翼片，水从里面流出，以当时难以令人置信的每分2300转的速度旋转。在这台水轮机成功之后，跟着出现了百余台不同尺寸的水轮机，其中一台最大的水轮机于1855年安装在朋特卢弗的巴黎水厂（功率为800马力）。

福内昂在青少年时代已很有才气。他15岁参加高考，成绩优异，为大学破格录取。他毕业参加工作后，在22岁时首次被委以重任，要他负责建一个轧钢厂。这个任务他完成得如此之好，以致他的工资马上增加了一倍。他不仅是一个职业工程师和设计师，而且是一个冶金学家和机械师，完全有能力实现伯丁原来的想法。他想出了支承和润滑环形转子轴承的办法：转子运转的速度很高，并为装在壳体内部的固定叶片所包围，转子的轴承是很不好支承和润滑的。他对自己的设计守口如瓶，特别是对那些弯曲的叶片。

福内昂的水轮机效率很高。1837年制造的一台，其效率达百分之八十以上，几乎比下击水车的效率高三倍。

## 力大无比的水压机

你看到过万吨水压机吗？那高高大大的机器可真神奇，烧得通红的钢铁在它“手”里简直就像一团面粉；要它扁就扁，要它长就长。原来，神奇的水压机所产生的压力有好几万吨呢！难怪连钢铁也只能听任它的摆布哩。

说起水压机的发明，那可是法国科学家布莱斯·帕斯卡的功劳。

1623年6月19日，帕斯卡出生在法国的克莱蒙市，即现在的克莱蒙·菲郎市。他的父亲是一个博学多才的数学家，良好的家庭环境为他成长为天才

人物提供了不可多得的条件。虽然帕斯卡 39 岁就离开了人世，但他对科学做出的贡献是巨大的。提起帕斯卡，人们自然而然会想到压力的单位——帕，这便是以他的姓名命名的；进一步还会联想到著名的“帕斯卡定律”，这是物理学中的一个重要定律，也是发明水压机的理论基础。

1646 年 10 月，23 岁的帕斯卡得知意大利物理学家托里拆利水银柱实验和对大气压力的发现时，他也开始了顽强探索。帕斯卡设计了两个巧妙连接在一起的玻璃管，依靠其中一个可以减少另一个管子里的水银表面上部空气的方法，他证明了空气压力的存在以及压力决定试管中水银柱高度的变化。

“啊，这一点我完全清楚了，”帕斯卡自言自语道，“液体中的压力是自下而上逐渐减少的。”

帕斯卡对两个连在一起的玻璃管的兴趣越来越浓厚，他制作了大小各种形状的玻璃管进行实验，并称其为“连通器”。

有一天，帕斯卡对一粗一细两个玻璃管组成的连通器来了兴致，他反玻璃管放在工作台上，并在管内加了一点水，粗细两个管内的水柱是一般高。

“对，这没错！因为粗细两个管的上端都开了口。可是如果我在其中一个管内压下一个塞子，会出现什么情形呢？”帕斯卡常常为自己设下一个又一个的难题。

他首先在粗管子里加入塞子，嗨！水竟然从细管的上端喷了出来。

接着，他又将塞子塞入细管内，这下倒没事，粗管内的水柱仅稍稍上升了一点点。

帕斯卡马上想到了一个问题：“如果同时在粗细两个管子上加上塞子，会出现什么结果呢？”这是思维上的跳跃，也是帕斯卡通向“帕斯卡定律”进而发明水压机的关键所在。

经过一系列精确的实验验证，帕斯卡终于在 1646 年 10 月发表了一篇论文——“论液体平衡”，其中提出了密闭流体传递压强的定律：“加在封闭容器中的液体任何一部分的压强（即垂直作用于液体单位面积上的力），必然按原来的大小向各处传递。”这便是著名的“帕斯卡定律”。

这个定律告诉我们，在粗细连通器上，小活塞上加一个小压力，就可以在大活塞上得到一个大压力。如果大活塞的面积是小活塞面积的 1000 倍，那么，在小活塞上加 1 千克压力，大活塞便可顶起 1000 千克的庞然大物！其实，帕斯卡实验用的这个粗细连通器就是世界上最早的一台水压机。以后，人们在这基础上，用金属代替了玻璃，用油代替了水，并将油缸设计成油泵，于是，油压机诞生了。

今天，帕斯卡的这项发明可真称得上是子孙满堂：小的如“千斤顶”，它能将抛锚的汽车一点点抬起来；大的如“万吨水压机”，它能锻压大型的钢材。另外还有高层建筑施工用的自升塔式起重机，镜面磨削用的高精度磨床，操纵超音速飞机舵翼用的液压随动系统等，都离不开帕斯卡的这项发明呢。

## 汽轮机的发明

汽轮机是一种古老的想法只有靠技术的进步才能实现的范例。在 19 世纪后半期，钢及其合金得到了广泛使用。汽轮机就是在这种情况下出现的。

借助于连杆和曲轴将汽缸内活塞的线性运动变成转动，看来是一种迂回

曲折的途径。如果把蒸汽直接喷在一个轮子的翼板上，就像水直接冲在水车上那样，事情一定会简单得多。这种想法（冲击涡轮机的原理），是一个叫布兰卡的意大利人早在 1629 年就提出来的。反击式涡轮机（从涡轮机的外缘喷出的蒸汽转动轮子，蒸汽就像从轮转烟火的外缘冒出火花一样）的原理甚至还要古老。它是亚历山大城的赫罗在公元 2 世纪提出来的。然而自从工业革命开始以后，包括瓦特和特里维雪克在内的许多发明家，都曾试制过汽轮机或“旋转发动机”，可是都没有成功。

这个简单的想法容易使人误解，因为隐伏着一个很大的困难。这种涡轮机必须以闻所未闻的速度旋转，才能吸收蒸汽能量的有用部分。如果转不了那么快，这种装置比起活塞发动机来效率就差多了。罗斯伯爵的第六个儿子（也是最小的一个儿子）帕森斯，在纽卡斯尔任工程师的初期解决了这个棘手的难题。他把一套有翼板的轮子安装在一个轴上，使蒸汽通过一个又一个轮子，轮子的直径随蒸汽压力的降低而增大。通过这种方式，每个轮子都吸收蒸汽的部分能量，这样速度就很高了。帕森斯的第一台涡轮机（于 1884 年获得专利）的转速，达到了每分钟 18000 转。以前的任何技术都解决不了这项发明提出的问题。

涡轮机后来用作轮船的推进器，像“卡马尼亚号”、“鲁西塔亚号”和“毛里塔尼亚号”这些早期的大型班船，都是用涡轮机推进的。然而帕森斯原来却是想用他发明的机器来发电。他设计的一种能够高速运转的直流发电机也获得了专利。

虽然后来在欧洲大陆和美国出现了与之竞争的涡轮机，但是帕森斯却不失为研制涡轮机的先驱者。也许除纽科门的蒸汽机外，没有什么发明是由一个人想出来而又那么完善，对社会的影响又那么大。如今我们一提到“蒸汽时代”，好像已成为历史，其实不然，我们所用电力的绝大部分，仍然是用汽轮机产生的。这些汽轮机，无一不是从帕森斯发明的汽轮机演变而来的。

## 燃气轮机的发明

如果涡轮机能靠蒸汽运转，就像亚历山大城的赫罗在公元前 2 世纪提出和帕森斯在 1897 年所证明的那样，为什么不能靠可以产生更大动力的其他力量运转呢？这是一个合乎逻辑的问题。在 20 世纪 30 年代，科学家们，主要是瑞士的科学家们，已开始把燃气轮机当成一个经济问题来考虑了。

基本上可以这样说，燃气轮机是一种有叶片的轮子，指向叶片和叶片之间的强有力的喷气迫使叶片转动。叶片固定在一个轴上，叶片的转动带动轴；动力从涡轮机的轴传出，可用皮带或齿轮带动任何机械。燃气轮机所需的空气用压缩机压入，进入燃烧室后与喷入的燃油相混，然后点燃油。燃料着火后便开始膨胀，把热气体压进涡轮机，使轴转动，产生动力。

起初，燃气轮机的成本低、体积小、重量轻、构造相当简单和能很快启动等优点，都抵销不了它的一大缺点，就是它需要耐高温的特种金属，而且耗费的燃料也很多。除了霍尔茨沃思 1908 年的实用燃气轮机外，直到瑞士的布朗—博维里公司开始研制燃气轮机时，气体才被当成一种可能起推进作用的动力源。在 20 世纪 30 年代中期，美国各州的油田大约使用了装机容量为 6000 千瓦的燃气轮机发电机组。数年后，燃气轮机越来越多地用来在高峰用电期间为发电机提供动力。然而这种形式的动力最初效率不高，因而很少

使用。

在第二次世界大战后，燃气轮机越造越大，效率也有所提高。英国的第一台辅助燃气轮机发电机，于 1952 年在曼彻斯特开始运转。俄国降低燃气轮机的燃料消耗和废物排放的实验也获得了成功。一台装机容量为 20000 千瓦的涡轮机已使用廉价的地下管道煤气作燃料。1962 年，一个燃气轮机机组产生的余热首次被用来给水加热。前苏联有一台装机容量为 50 000 千瓦的燃气轮机，它可能是当今世界上最大的燃气轮机。

这种形式的动力也用于运输。1941 年，瑞士联邦铁路局生产出了第一辆用燃气轮机提供动力的机车，其功率达到 2200 马力。人们发现，涡轮机比蒸汽机更为有效。最早用燃气轮机提供动力的汽车是英国罗弗公司于 1950 年制造出来的。后来，这种汽车在赛车中显得相当不错。1963 年一辆燃气轮机汽车参加了极度紧张的勒芒 24 小时赛，以平均每小时 109.7 英里的速度驰骋了 2553 英里，中途只停过 9 次。用燃气轮机成功地提供动力的救火车和用涡轮机驱动的轻型的便携式救火泵，迄今已在美国使用了若干年了。在海上，许多海军喜欢燃气轮机发动机，至少是喜欢用它配合其他形式的动力使用；在航空中，燃气轮机也成了喷气推进发动机的组成部分——英国的惠特尔爵士把它改造完善之后就用在飞机上了。

虽然在运输中燃气轮机发动机看来性能稳定，重量轻，寿命长，很少需要维修，但是它的燃料消耗很厉害，这就妨碍了它被广泛地用于铁路运输和公路运输。然而在工业上，使用燃气轮机来为机器提供动力的情况正日益普遍。

## 斯特林发动机

在 19 世纪初期，人们繁重的体力劳动终于为有多种用途的蒸汽机所替代。然而糟糕的是，蒸汽机技术还相当不完善，效率很低，熟练的工程师不得不经常进行检修；更讨厌的是锅炉经常爆炸，造成严重损失和伤亡事故。这样的悲剧在海上尤为频繁。在海上，机器的重量被减到最小的程度，锅炉经常受到风暴的应力——这种情况是设计人员决不允许的。苏格兰工程师和发明家斯特林（1790～1878 年），在十几岁的时候就花了若干年来研制一种更好的无需锅炉的发动机。

不久他就产生了用空气代替蒸汽作工作介质的想法。一个叫萨迪·卡诺的法国人曾发表过关于理想的热力循环的论文，但是没有谈到怎样制造这样的发动机。斯特林用金属器具作实验，与此同时，夜以继日地在纸上进行计算。1817 年，他终于获得了一种以他的姓命名的发动机的专利。他未能制造出一台能工作的好样机，因为他的想法无疑超越了时代。

斯特林循环的理论基础是，一个体积的气体，会持续地在被带热源和回热器的汽缸和作往复运动的活塞所密封的容积内振动。在每一个循环开始时，气体在一个不变的容积内加热，进行恒温膨胀（温度不变），驱动输出活塞，在膨胀后的较大的容积内冷却，然后进行恒温压缩（在较低的不变的温度下压缩）。对他的发动机来说，重要的是从外面提供热能。他自己未能制造出一台有用的发动机的原因之一，是单就加热和冷却汽缸的外壁这一点就注定要失败。加热和冷却坚固的金属壁的速度不能达到要求，因此，产生的动力太小，不能用来驱动发动机。

到 19 世纪中期，勒努瓦和其他发明家已研制成功了燃气发动机，在这种发动机中，热量由工作液而不是由汽缸产生。到 1900 年，奥托和狄塞尔已制造出了燃烧液态燃料的发动机；在当今世界上，这些发动机的应用极为普遍。但是在 1938 年，当丹麦的菲利普斯 NV 公司寻求一种发动机，用来驱动用于偏僻地区的小发电机时，却逐渐得出了这样的结论：斯特林发动机可能有潜在的巨大意义，可是它被人们忽视了，受到了世人的冷遇。现在，许多公司都在制造斯特林发动机，一般都是得到菲利普斯公司的允许的。大多数的斯特林发动机都有合理的菱形联动装置，由沿同一汽缸独立地作往复运动的两个活塞提供输出的动力。气体——可以是空气、氦和氢——在每一个循环中都把自己热量的 99% 传给一个多孔的金属回热器（热库），在回流时又将其带回。热源可以是任何热到有用程度的东西（例如营火），而这种发动机的一个最突出的特点，是其便携式样机既可以用高辛烷值的汽油作燃料，也可以用从油井获得的原油作燃料，甚至可以用色拉油作燃料。”

由于燃料继续不断地燃烧，这就有可能把不希望在外面产生的污染物降低到最小限度——这一点却是内燃机作不到的。斯特林发动机也可以造得运转平稳、噪声极小。适用于船只、车辆和其他各种用途的斯特林发动机，已经证明，其功率、成本、可靠性和使用寿命至少不逊于其他发动机。无疑，这个有 160 年之久的原理正开始为人们所广泛应用。由于人们对奥托发动机和狄塞尔发动机造成的环境问题日益关注，就进一步推动了斯特林发动机的应用。

## 汪克尔发动机

自从本茨和戴姆勒在 19 世纪 80 年代的发明以来，驱动汽车的发动机的设计几乎没有什么变化。传统的内燃机仍然用活塞工作，气体爆燃迫使活塞在汽缸内上下移动，其往复运动转变成转动，用以转动车轮。

直到本世纪 50 年代后期，德国康斯坦斯湖畔林道地区的一个叫汪克尔的工程师，找到了一种无须将一种运动转变成另一种运动就能解决此问题的方法；这种方法是用转动代替汽缸里的往复运动。他的“汽缸”不是长方形的，而是圆形的；他的“活塞”是一个三角形的转盘，转盘的边缘略带弧形，这样，在整个转动过程中，三边中至少有两边为移动和膨胀的气体留下空间。转动的活塞盘也自动地打开和关闭进气口和排气阀。

由于他在设计上的革新，发动机的体积变得小多了，工作得更平稳了，活动的部件也少了；其不足之处是，这种发动机比传统的发动机要稍微多消耗一点燃料。汪克尔发动机的四个冲程——吸气、压缩、点火、排气——是在活塞盘的转动过程中完成的，而每转一转都有三个动力冲程。事实上，一台单转子的汪克尔发动机所做的功，等于一台有三个汽缸的传统发动机所做的功，一台双转子所作的功，等于一台有六个汽缸的传统发动机所作的功，总功率达到 100 多制动马力。汪克尔发动机的平均速度是每分钟 5500 转，最大速度为每分钟 7000 转。

这种转动活塞发动机只有两个活动部件：转子和通向齿轮箱和输出轴。它需要一个汽化器和若干个火花塞，但无需活塞杆、曲轴或复杂的阀门控制；这使得汪克尔发动机的重量比传统的发动机的重量要轻四分之一，而且在大规模生产时还要便宜一些。

最先制造汪克尔车的是德国的内卡苏尔姆联合交通工具公司；接着日本的木田汽车公司在 1968 年也开始制造。美国的通用汽车公司于 1974 年在市场上出售小型的雪弗莱·维加牌汪克尔车。获得生产汪克尔车的特许证的主要汽车公司有默塞德斯—奔驰公司、沃尔克斯瓦金公司、丰田公司、罗尔斯—罗伊斯公司、阿尔法·罗梅罗公司和雪铁龙公司以及许多国家的 20 余个其他的公司。

## 发明电动机

1791 年 9 月 22 日，法拉第（一个铁匠的儿子）诞生在伦敦西部曼彻斯特广场附近的屋子里，屋子的下面是马车棚。由于他的身分和坚决要求，他在 21 岁时，获得了阿尔比马尔街附近的皇家学院实验室的一个低级职务。

丹麦人奥斯特教授的一个发现使他颇感兴趣。奥斯特教授偶然注意到，当有电流流动时导线靠近装有枢轴的磁针时，磁针便会偏转。法拉第对这种效应苦苦思索，终于确信电和磁之间有一种明显的关系。经过许多实验之后，他试制出了自己的“电转”，即符合现代观念的早期的电动机。

在他设计的各种实验中最重要的一项实验，是在一个钩子上悬置一条 6 英寸长的铜导线，让导线的下端浸入一碗汞中，汞的中央有一根垂直固定的棒形磁体。通电后，连续的电流便从电池流向钩子，从钩子流向导线，从导线流向汞，致使导线开始围绕着磁棒旋转；只要电流不断，导线就继续旋转。这年是 1821 年，电动机就这样发明了。

## 发明发电机

学过物理课的人都会记得，英国科学家法拉第于 1831 年发现了电磁感应原理。这一在人类社会过程中起到重要作用的原理是说：“当磁场的磁力线发生变化时，在其周围的导线中就会感应产生电流。”

法拉第曾煞费苦心，通过研究和反复实验，终于发现了这一影响巨大的科学原理，而且他确信，利用此原理肯定能制造出可以实际发电的发电机。

就在法拉第发现电磁感应原理的第二年，受法拉第发现的启示，法国人皮克希应用电磁感应原理制成了最初的发电机。

皮克希的发电机是在靠近可以旋转的 U 形磁铁（通过手轮和齿轮使其旋转）的地方，用两根铁芯绕上导线线圈，使其分别对准磁铁的 N 极和 S 极，并将线圈导线引出。这样，摇动手轮使磁铁旋转时，由于磁力线发生了变化，结果在线圈导线中就产生了电流。

由这种发电机的装置可以知道，每当磁铁旋转半圈时，线圈所对应的磁铁的磁极就改变一次，从而使电流的方向也跟着改变一次。为了改变这种情况，使电流方向保持不变，皮克希想出了一个巧妙的办法：在磁铁的旋转轴上加装两片相互隔开成圆筒状的金属片，由线圈引出的两条线头，经弹簧片分别与两个金属片相接触。另外，再用两根导线与两个金属片接触，以引出电流。这个装置，就叫做整流子，在后来的发电机上仍得到应用。

整流子为什么能保持电流方向不变呢？这是因为电流从线圈流入整流子，而整流子是和磁铁一起旋转的。当磁铁转过半圈，线圈中电流方向倒逆过来，整流子也正好转过半周来而掉转了方向，因而输出的电流方向始终是

不变的。

皮克希发明的这种发电机在世界上是首创，当然也有其不足之处。需要对它进行改进的地方，一是转动磁铁不如转动线圈更为方便灵活；二是通过整流子可以得到定向的电流，但是电流强弱还是不断变化的。为改变这种情况，人们采用增加一些磁铁和线圈数量，并稍微错开地将变化的电流一起引出的办法，使输出电流的强度变化控制在一定的范围内。

从皮克希发明发电机后的 30 多年间，虽然有所改进，并出现了一些新发明，但成果不大，始终未能研制出能输出像电池那样大的电流，而且可供实用的发电机。

1867 年，德国发明家韦纳·冯·西门子对发电机提出了重大改进。他认为，在发电机上不用磁铁（即永久磁铁），而用电磁铁，这样可使磁力增强，产生强大的电流。

西门子弹用电磁铁代替永久磁铁发电的原理是，电磁铁的铁芯在不通电流时，也还残存有微弱的磁性。当转动线圈时，利用这一微弱的剩磁发出电流，再返回给电磁铁，促使其磁力增强，于是电磁铁也能产生出强磁性。

接着，西门子着手研究电磁铁式发电机。很快就制成了这种新型的发电机，它能产生皮克发电机所远不能相比的强大电流。同时，这种发电机比连接一大堆电池来通电要方便得多，因而它作为实用发电机被广泛应用起来。

西门子的新型发电机问世后不久，意大利物理学家帕其努梯于 1865 年发明了环状发电机电枢。这种电枢是以在铁环上绕线圈代替在铁芯棒上绕制的线圈，从而提高了发电机的效率。

实际上，帕斯努梯早在 1860 年就提出了发电机电枢的设想，但未能引起的人们的注意。1865 年，他又在一本杂志上发表了这一独创性的见解，仍未得到社会的公认。

到了 1869 年，比利时学者古拉姆在法国巴黎研究电学时，看到了帕其努梯发表的文章，认为这一发明有其优越性。于是，他就根据帕其努梯的设计方案，兼采纳了西门子的电磁铁式发电机原理进行研制，于 1870 年制成了性能优良的发电机。

在帕其努梯的发明中，对发电机的整流子部分进行了重要改进，使发电机发出的电流强度变化极小。而采用帕其努梯设计方案制成的古拉姆式发电机，其发出的电流强度变化也很小。这是古拉姆发电机的优良性能的表现之一。

古拉姆发电机的性能好，所以销路很广，他不仅发了财，而且被人们誉为“发电机之父”。

有些人看到古拉姆发明发电机获得成功，也想对发电机进行改进从而制造出更先进的发电机。在这些人中，就有德国的西门子公司研究发电机的工程师阿特涅。他发明了古拉姆发电机不同的线圈绕线方式，制成了性能良好的发电机。

古拉姆发电机的电枢是将铁丝绕成环状，在环与环之间夹上纸进行绝缘，然后将环捆在一起作为铁芯，在其上面绕上导线线圈，再由线圈的不同部位引出一些导线，接向带整流子。而阿特涅发电机的电枢，是用许多薄圆铁板以纸绝缘后重叠起来，制成铁芯，然后在其上面绕上导线线圈。人们把这种方法叫做“鼓卷”，意思是像鼓一样的形状。经过这种改进后，发电机无论是外观或是性能，都比原来有了很大起色。

西门子公司由于阿特涅的这项发明而益发驰名。于是，德国以西门子公司为核心，大力研制各种发电机，从而使电力工业得到了迅速的发展。

随着发电机的逐渐大型化，转动发电机的动力也发生了变化。其中以水力作动力更使人们感兴趣。这是因为用水力转动大型发电机较方便，而且不消耗燃料，成本低。因此，西门子公司又投入水力发电的研究工作。

利用水力发电与水力发电不同，前者必须将发电机安装在水流湍急的地方，也就是水流落差大的地方。这样，就必须在山中河川的上游发电，然后再输送到远方的城市。

为了远距离输送电，就要架设很长的输电线。但是，在输电线中通过很强的电流时，电线就要发热，这样，好不容易发出的电能在送向远方的途中，却因为电线发热而损耗掉了。

为了减少电能在长距离输送中的发热损耗，可以采用的办法有两个：一是增加电压的截面积，即将电线加粗，减小电阻；二是提高电压而减小电流。前一个措施因需要大量的金属导线，而且架设很粗的导线有很多困难，因而很难得到采用。比较起来，还是后一个措施有实用价值。然而，对于当时使用的直流电来说，使其电压提高或降低都是难以实现的。于是，人们只得开始考虑利用电压很容易改变的交流电。

看来，将直流发电机改为交流发电机比较容易，主要是取掉整流子就行了。所以，西门子公司于 1873 年发明了交流发电机。此后，对交流发电机的研究工作便盛行起来，从而使这种发电机得到了迅速的发展。

## “机械之母”

### 第一台镗床问世

工场手工业虽然是相对落后的，但是它却训练和造就了许许多多的技工，他们尽管不是专门制造机器的行家里手，但他们却能制造各种各样的手工器具，例如刀、锯、针、钻、锥、磨以及轴类、套类、齿轮类、床架类等等，其实机器就是由这些零部件组装而成的。

说起镗床，还先得说说达·芬奇。这位传奇式的人物，可能就是最早用于金属加工的镗床的设计者。他设计的镗床是以水力或脚踏板作为动力，镗削的工具紧贴着工件旋转，工件则固定在用起重机带动的移动台上。1540年，另一位画家画了一幅《火工术》的画，也有同样的镗床图，那时的镗床专门用来对中空铸件进行精加工。

到了17世纪，由于军事上的需要，大炮制造业的发展十分迅速，如何制造出大炮的炮筒成了人们亟需解决的一大难题。

世界上第一台真正的镗床是1775年由威尔金森发明的。其实，确切地说，威尔金森的镗床是一种能够精密地加工大炮的钻孔机，它是一种空心圆筒形镗杆，两端都安装在轴承上。

1728年，威尔金森出生在美国，在他20岁时，迁到斯塔福德郡，建造了比尔斯顿的第一座炼铁炉。因此，人称威尔金森为“斯塔福德郡的铁匠大师”。1775年，47岁的威尔金森在他父亲的工厂里经过不断努力，终于制造出了这种能以罕见的精度钻大炮炮筒的新机器。有意思的是，1808年威尔金森去世以后，他就葬在自己设计的铸铁棺内。

但是，威尔金森的这项发明没有申请专利保护，人们纷纷仿造它，安装它。1802年，瓦特也在书中谈到了威尔金森的这项发明，并在他的索霍铁工厂里进行仿制。以后，瓦特在制造蒸汽机的汽缸和活塞时，也应用了威尔金森这架神奇的机器。原来，对活塞来说，可以在外面一边量着尺寸，一边进行切削，但对汽缸就不那么简单了，非用镗床不可。当时，瓦特就是利用水轮使金属圆筒旋转，让中心固定的刀具向前推进，用以切削圆筒内部，结果，直径75英寸的汽缸，误差还不到一个硬币的厚度，这在当时是很先进的了。

在以后的几十年间，人们对威尔金森的镗床作了许多改进。1885年，英国的赫顿制造了工作台升降式镗床，这已成为了现代镗床的雏型。

### 车床诞生记

早在古埃及时代，人们已经发明了将木材绕着它的中心轴旋转时用刀具进行车削的技术。起初，人们是用2根立木作为支架，架起要车削的木材，利用树枝的弹力把绳索卷到木材上，拉动绳子转动木材，用刀具车削。

这种古老的方法逐渐演化，发展成了在滑轮上绕二三圈绳子，绳子架在弯成弓形的弹性杆上，来回推拉弓使加工物体旋转从而进行车削，这便是“弓车床”。

到了中世纪，有人设计出了用脚踏板旋转曲轴并带动飞轮，再传动到主轴使其旋转的“脚踏车床”。16世纪中叶，法国有一个叫贝松的设计师设计了一种用螺丝杠使刀具滑动的车螺丝用的车床，可惜的是，这种车床并没有

推广使用。

时间到了 18 世纪，又有人设计了一种用脚踏板和连杆旋转曲轴，可以把转动动能贮存在飞轮上的车床上，并从直接旋转工件发展到了旋转床头箱，床头箱是一个用于夹持工件的卡盘。

在发明车床的故事中，最引人注目的是一个名叫莫兹利的英国人，因为他于 1797 年发明了划时代的刀架车床，这种车床带有精密的导螺杆和可互换的齿轮。

莫兹利生于 1771 年，18 岁的时候，他是发明家布拉默的得力助手。据说，布拉默原先一直是干农活的，16 岁那年因一次事故致使右踝伤残，才不得不改行从事机动性不强的木工活。他的第一项发明便是 1778 年的抽水马桶，莫兹利开始一直帮助布拉默设计水压机和其他机械，直到 26 岁才离开布拉默，因为布拉默粗暴地拒绝了莫利兹提出的把工资增加到每周 30 先令以上的请求。

就在莫兹利离开布拉默的那一年，他制成了第一台螺纹车床，这是一台全金属的车床，能够沿着 2 根平行导轨移动的刀具座和尾座。导轨的导向面是三角形的，在主轴旋转时带动丝杠使刀具架横向移动。这是近代车床所具有的主要机构，用这种车床可以车制任意节距的精密金属螺丝。

3 年以后，莫兹利在他自己的车间里制造了一台更加完善的车床，上面的齿轮可以互相更换。不久，更大型的车床也问世了，为蒸汽机和其他机械的发明立下了汗马功劳。

19 世纪，由于高速工具钢的发明和电动机的应用，车床不断完善，终于达到了高速度和高精度的现代水平。

## 刨床和铣床

在发明过程中，许多事情往往是相辅相成、环环相扣的：为了制造蒸汽机，需要镗床相助；蒸汽机发明发后，从工艺要求上又开始呼唤龙门刨床了。可以说，正是蒸汽机的发明，导致了“工作母机”从镗床、车床向龙门刨床的设计发展。其实，刨床就是一种刨金属的“刨子”。

由于蒸汽机阀座的平面加工需要，从 19 世纪初开始，很多技术人员开始了这方面的研究，其中有理查德·罗伯特、理查德·普拉特、詹姆斯·福克斯以及约瑟夫·克莱门特等，他们从 1814 年开始，在 25 年的时间内各自独立地制造出了龙门刨床。这种龙门刨床是把加工物件固定在往返平台上，刨刀切削加工物的一面。但是，这种刨床还没有送刀装置，正处在从“工具”向“机械”的转化过程之中。到了 1839 年，英国一个名叫博德默的人终于设计出了具有送刀装置的龙头刨床。

另一位英国人内史密斯从 1831 年起的 40 年内发明制造了加工小平面的牛头刨床，它可以把加工物体固定在床身上，而刀具作往返运动。

此后，由于工具的改进、电动机的出现，龙门刨床一方面朝高速切割、高精度方向发展，另一方面朝大型化方向发展。

19 世纪，英国人为了蒸汽机等工业革命的需要发明了镗床、刨床，而美国人为了生产大量的武器，则专心致志于铣床的发明。铣床是一种带有形状各异铣刀的机器，它可以切削出特殊形状的工件，如螺旋槽、齿轮形等。

早在 1664 年，就有人依靠旋转圆形刀具制造出了一种用于切削的机器，

这可算是原始的铣床了。当然，真正确立铣床在机器制造中地位的，要算美国人惠特尼了。

1818年，惠特尼制造了世界上第一台普通铣床，但是，铣床的专利却是英国的博德默于1839年捷足先“得”的。

1862年，美国的布朗制造出了世界上最早的万能铣床，这种铣床在备有万有分度盘和综合铣刀方面是划时代的创举。万能铣床的工作台能在水平方向旋转一定的角度，并带有立铣头等附件。同时，布朗还设计了一种经过研磨也不会变形的成形铣刀，接着还制造了磨铣刀的研磨机，使铣床达到了现在的水平。

## 磨床和钻床

磨削是人类自古以来就知道的一种古老技术，旧石器时代，磨制石器用的就是这种技术。以后，随着金属器具的使用，促进了研磨技术的发展。但是，设计出名副其实的磨削机械还是近代的事情，即使在19世纪初期，人们依然是通过旋转天然磨石，让它接触加工物体进行磨削加工的。

1864年，美国制成了世界上第一台磨床，这是在车床的溜板刀架上装上砂轮，并且使它具有自动传送的一种装置。过了12年以后，美国的布朗发明了接近现代磨床的万能磨床。

人造磨石的需求也随之兴起。如何研制出比天然磨石更耐磨的磨石呢？1892年，美国人艾奇逊试制成功了用焦炭和砂制成的碳化硅，这是一种现称为C磨料的人造磨石；2年以后，以氧化铝为主要成份的A磨料又试制成功，这样，磨床便得到了更广泛的应用。

以后，由于轴承、导轨部分的进一步改进，磨床的精度越来越高，并且向专业化方向发展，出现了内圆磨床、平面磨床、滚磨床、齿轮磨床、万能磨床等等。

与磨削技术相似，钻孔技术也有着悠久的历史。考古学家现已发现，公元前4000年，人类就发明了打孔用的装置。古人在两根立柱上架个横梁，再从横梁上向下悬挂一个能够旋转的锥子，然后用弓弦缠绕带动锥子旋转，这样就能在木头石块上打孔了。不久，人们还设计出了称为“轱辘”的打孔用具，它也是利用有弹性的弓弦，使得锥子旋转。

到了1850年前后，德国人马蒂格诺尼最早制成了用于金属打孔的麻花钻；1862年在英国伦敦召开的国际博览会上，英国人惠特沃斯展出了由动力驱动的铸铁柜架的钻床，这便成了近代钻床的雏形。

以后，各种钻床接连出现，有摇臂钻床、备有自动进刀机构的钻床、能一次同时打多个孔的多轴钻床等。由于工具材料和钻头的改进，加上采用了电动机，大型的高性能的钻床终于制造出来了。

## 不断发展的车床

19世纪末到20世纪初，单一的车床已逐渐演化出了铣床、刨床、磨床、钻床等等，这些主要机床已经基本定型，这样就为20世纪前期的精密机床和生产机械化和半自动化创造了条件。

在20世纪的前20年内，人们主要是围绕铣床、磨床和流水装配线展开

的。由于汽车、飞机及其发动机生产的要求，在大批加工形状复杂、高精度及高光洁度的零件时，迫切需要精密的、自动的铣床和磨床。由于多螺旋线刀刃铣刀的问世，基本上解决了单刃铣刀所产生的振动和光洁度不高而使铣床得不到发展的困难，使铣床成为加工复杂零件的重要设备。

被世人誉为“汽车之父”的福特，提出：汽车应该是“轻巧的、结实的、可靠的和便宜的”。为了实现这一目标，必须研制高效率的磨床，为此，美国人诺顿于1900年用金刚砂和刚玉石制成直径大而宽的砂轮，以及刚度大而牢固的重型磨床。磨床的发展，使机械制造技术进入了精密化的新阶段。

在1920年以后的30年中，机械制造技术进入了半自动化时期，液压和电器元件在机床和其他机械上逐渐得到了应用。1938年，液压系统和电磁控制不但促进了新型铣床的发明，而且在龙门刨床等机床上也推广使用。30年代以后，行程开关——电磁阀系统几乎用到各种机床的自动控制上了。

第二次世界大战以后，由于数控和群控机床和自动线的出现，机床的发展开始进入了自动化时期。数控机床是在电子计算机发明之后，运用数字控制原理，将加工程序、要求和更换刀具的操作数码和文字码作为信息进行存贮，并按其发出的指令控制机床，按既定的要求进行加工的新式机床。

数控机床的方案，是美国的帕森斯在研制检查飞机螺旋桨叶剖面轮廓的板叶加工机时向美国空军提出的，在麻省理工学院的参加和协助下，终于在1949年取得了成功。1951年，他们正式制成了第一台电子管数控机床样机，成功地解决了多品种小批量的复杂零件加工的自动化问题。以后，一方面数控原理从铣床扩展到铣镗床、钻床和车床，另一方面，则从电子管向晶体管、集成电路方向过渡。

1970年至1974年，由于小型计算机广泛应用于机床控制，出现了3次技术突破。第一次是直接数字控制器，使一台小型电子计算机同时控制多台机床，出现了“群控”；第二次是计算机辅助设计，用一支光笔进行设计和修改设计及计算程序；第三次是按加工的实际情况及意外变化反馈并自动改变加工用量和切削速度，出现了自适应控制系统的机床。

1968年，英国的毛林斯机械公司研制成了第一条数控机床组成的自动线，不久，美国通用电气公司提出了“工厂自动化的先决条件是零件加工过程的数控和生产过程的程控”，于是，到70年代中期，出现了自动化车间，自动化工厂也已开始建造。

经过100多年的风风雨雨，机床的家族已日渐成熟，真正成了机械领域的“工作母机”。

## 机器人时代

### 机器人出世

机器人是模拟人的四肢动作和部分感觉与思维能力的机械装置，它是用电器元件或电子仪器控制，通过液压传动元件操纵杠杆机构，实现预期目的。

第一代机器人是一种只能进行固定的和变换工作程序的简单机械动作的装置，产生在 1966 年。当时一架载有氢弹的美国飞机在地中海失事，一颗氢弹落入地中海。为了防止射线对人体的危害，制造了一台有电视眼和机械手的简单机械人，把氢弹打捞了上来。同年，美国某医院安装放射线源时，有半支香烟头大小的放射性钴 60 掉了出来，用这种简单的机械人拾起，并放入铅盒内。从此机器人引起了人们广泛的注意和研究，仅在 1976 年美国就有 75 台机器人用于生产上。这一年，前苏联的月球卫星就是用机器人挖取岩石和土壤试样的。

第二代机器人有触觉和视觉功能，能在“理解”周围环境的情况下进行工作，它是在 60 年代末小型电子计算机已推广使用和价格降低的条件下出现的。电子计算机控制、存贮和处理周围环境反馈的信息，进行判断，然后按既定的要求进行操作。这种设想早在 1958 年就在美国提出来了，1961 年底研制出电子数字计算机控制的机械手模型，在 60 年代末才推广使用。1970 年，丹麦人索伦森制成一个操纵挖掘机用的电子液压控制的机器人。美国也研制出模仿人的肩、肘、腕和手指动作的机器人，可以用几种速度连续行走。以后有某种感觉的机器人，如有触觉和重量感的机器人，也相继在美国、日本和英国问世。

第三代机器人是具有人的简单智力和学习功能的机器人，它能满足两种基本要求，一种是具有较大的自由度和灵活性，在复杂条件下能完成多种处理物品的形状和相对位置的任务。另一种是具有识别环境及其变化，并做出正确判断和进行工作的能力，具有进行联系“思考”和学习的智能。

早在 70 年代初，日本就制成了可看清图纸、并可在传送带上进行装配的机器人。接着又制成装有电脑、具有视力的电视摄像机、有触觉的传感器和相当于手腕的机械手的“智能机器人”。

1973 年 7 月，日本早稻田大学一研制组制成有腿的机器人，包括有人造耳，可根据人的口头指令做出反应；有识别物品的人造眼和有触觉的手，以及可作出答复的人造口。这标志着机器人的发展进入了一个新阶段。1974 年，美国航空航天局和加州理工学院又制成具有电视摄像机和激光器的人造眼和编入几千个指令的电脑，用于对月球表面进行科学考察。到 1978 年，“智能机器人”已具有某些视觉、触觉、温度感觉功能，能讲简单的语言和识别图纸和图像，并做出反应和进行操作。不同类型的机器人已大量应用于生产线上，在陆上、水下和月球上面等人难以或不可能进行工作的地方，机器人都可以发挥作用。

目前，机器人的研制正向进一步模拟人的部分智能和感觉的方向发展。

### 机器人的种类

机器人自诞生以来，短短的几十年内，已有了许许多多的成员。在这个

机器人大家庭里，你知道究竟有多少种机器人吗？按目前的情况来看，一般可分为三大类机器人。

第一种叫工业机器人。这是一种专门代替人来完成某些繁重、简单、危险工作的机器人，它们往往在高温、有毒等恶劣环境中工作。如包装机器人，用一串手爪把堆放的口袋的活扣打开，将它安放到料管口上，物料装好后关闭口袋的活扣，然后还能将装了东西的口袋堆放在一处。这种机器人不怕脏、不怕累，每小时可装 250 袋左右。

还有一些搬运机器人，在高温、有臭味、有粉尘的环境中搬取钢铁、塑料、玻璃等制品。工业机器人中还包括焊接机器人、喷漆机器人等等。

第二种是遥控机器人。这是人在远处利用电磁、光波等信号作远距离操纵，使机器人在某些特定的、危险的环境中进行工作。80 年代初，我国在西南地区某原子反应堆中就采用 QDS—100 单臂机器人协助工作。这种机器人臂长 2 米多，手臂前端有两个手指，可用来抓取东西。它的主要特点是不害怕放射线污染。

还有一些进行海洋勘探和开发的水下机器人，探测宇宙的太空机器人，在矿井下采煤的采掘机器人等也属于这一类。

第三种是智能机器人。这种机器人比较高级，它能接受人的指令，用感觉装置识别环境，由电脑进行思维和独立制订计划，用手脚来完成任务。如日本研究制造了自动售票机器人，只要人们把付款卡插入售票口，并对机器人说明要去哪儿，机器人就能自动把票送出来。只是有一定的局限，目前这种机器人还只能听懂 26 个站名。

现在还有不少服务机器人，如可以让孩子娱乐的玩具机器人，为病人送药、送食物、进行简单护理的护理机器人以及为盲人服务的机器人，招待顾客的服务员机器人，充当保姆的机器人，陪运动员进行训练的机器人……真是五花八门，种类繁多。

专家们预言，今后还会出现“脑力劳动”的机器人，或称为“专家机器人”。随着自动化技术、微电子技术、可视图像处理技术、信息技术及智能机器人的发展，以工厂自动化（FA）、办公室自动化（OA）和家务自动化（HA）为主线的 3A 革命将给机器人技术带来巨大变化。

机器人的另一处应用领域是在军事方面。美国、德国等先进国家先后研制了几十种不同型号的军用机器人。1991 年海湾战争中，参加沙漠风暴行动的美国安全爆炸物机器人，英国的“手推车” supet 地雷处理机器人均立下了汗马功劳。美国陆军部计划到 2000 年研制出用于前线修车、排雷、运送弹药和粮食以及为步兵导向的机器人。最宏伟的计划是有的国家要建立一支机器人舰队，到那时，实现无人指挥的全自动舰艇将问世，舰上的机器人甚至可根据实际情况制订作战计划。

## 现代机器人的功能

机器人发展到现在，已经是第四代了。这种现代化的机器人在许多方面的功能都超过人类。

机器人比人更清洁。这可能会引起你的疑问：机器人不是满身油污吗？也许有些工业机器人确实可能满身油污，但我们这里所说的清洁是指机器人带的尘埃很少很少。一个人穿普通衣服，在走路时一般身上带有 750 万个尘

埃，只不过人类的肉眼看不见罢了。在通常情况下，这些尘埃没有什么关系，但在某些高科技的研究室、化验室或生产场所，尘埃一多就会出废品。如我们制造电脑的重要器件时需要在 10 级洁净室中完成。按国际标准，在每立方英尺（相当于 0.0283 立方米）空间内直径大于 0.5 微米的尘埃不能超过 10 个，才能算作 10 级洁净室。而在每立方英尺空间空若同样大小的尘埃在 100 个以内则叫 100 级洁净室。即使进入 100 级洁净室，工作人员也必须换上特制的无尘衣服、无尘手套、无尘面罩等等，还应该在进入洁净室前 5 个小时内不能吸烟和使用化妆品。至于 10 级洁净室，由于条件实在太苛刻，基本上只能由机器人进去操作。

机器人干活比人精细。用机器人加工零部件，误差可控制在 1 毫米之内，废品率几乎为零。加工速度快，如机器人每班可完成 25~30 个精密工件，质量合格率为 100%，而工人每班只能完成同样的工件 6 个，而且还有 10% 的次品。

机器人的耐力比人好。它可以一连几天不休息，而人却不行，过度劳累就会病倒。机器人不怕环境恶劣、高温、低温、高压、缺氧、有毒、放射性污染、深水潜水……许多特殊工种都是它们大显身手的领域。

另外还有许多特别的机器人，如体积微小、只有普通水果糖那么大的机器人，结构、功能却很齐全，可以让它按照医生指令，钻进人体进行诊断。又如“巨无霸”类型的特大机器人可算作“举重世界冠军”，80 年代美国兰伯顿联合企业制造出的特大机器人，臂长 5.2 米，能一下抓起 2 吨重的物体，力大无穷。

至于近年来新开发的智能型机器人，它的记忆力（储存的信息容量）可等于常人的几百万至几千万倍，计算、思维速度更是快得令人叹为观止。在这个意义上说，智能型机器人比人更“聪明”。

当然，现代化的各种机器人可以在各自的某些方面超过人类，但它不可能在一切方面同时超过人类。

## 未来的机器人

世界上第一台机器人样机“尤尼曼特”诞生至今，经历过 30 多年的发展，已由第一代示教再现型机器人，第二代感觉型机器人……进入到目前的第五代智能型机器人阶段。

根据世界未来学预测，今后 10 年内会出现“脑力劳动”的机器人，或称“专家系统”。这种机器人通过电脑工作，可以取代一个或几个专家在高科技领域中从事科研工作。也就是说，随着科学技术的发展，将会有更先进、更聪明的第六代、第七代……机器人问世。尽管到目前为止，机器人在某些方面已比人强，如计算速度、记忆量、力量，适应恶劣环境等，但从总体上全面衡量，机器人仍比人类差得远呢。但是，未来的机器人会不会超过人类，成为真正的“超人”呢？美国不少科幻小说、电影中大肆渲染了未来的机器人胜过人类、甚至企图控制人类的情节，助长了一些人对这个问题的担忧。在科学界内，就此问题也众说纷纭，暂时无法统一。

那么，到底谁对谁错，还是让我们把机器人和人类来作个比较吧。

先看看他们的身体结构。人具有上千万年悠久的进化历史，在自然界优胜劣汰的竞争选择中，人类生存下来，发展起来，因此人体结构相当精巧，

各种生理系统十分完美、灵敏、高效、可靠。人体有 11 个系统，如骨骼、肌肉、消化、神经、内分泌……等，而且有新陈代谢作用。而机器人虽有控制、驱动、机械、感觉等系统，但远没有人体结构那么精巧和完备，更没有新陈代谢功能。因此在这方面机器人很难与人类相比。

再从智力方面看，人从婴儿生下来后，经过相当长的时间才长成人，其中经历了许许多多事情，学会了许许多多的本领，有科技知识，有社会知识，有待人接物、处世人情等等。而机器人“生”下来就是工作，尽管可以给他灌输许多信息，但在全面性和复杂性上仍无法与人相比。

人的大脑具有对周围任何环境包括特殊情况的高度适应能力，它的反应极其灵敏。尤其是遇到新的情况，它能迅速分析，作出判断。而机器人的电脑却无法以灵活来应付千变万化。它只能根据人们事先给它的程序来作出相应的反应，一旦超出这个程序的范围，它就束手无策了。因此，在创造性思维和不断通过实践学习、提高等方面，机器人与人类有着实质性的差距。

此外，在情感方面，机器人迄今为止并在可预见的将来都是一片空白。

最后也是最重要的一点，我们必须记住，未来的哪怕是最先进的机器人，也是人类用自身的智能制造出来的，人是机器人发展的主宰者，所以我们可以肯定地说，机器人是永远不会在一切方面都超过人类的。

## 欢迎“英雄”机器人

你一定会读过或看过这样的故事情节：一位家庭主妇，6 点 30 分起床，把头发一扎马上为全家作早饭，然后洗脸化妆。7 点 15 分叫孩子和丈夫起床，待他们吃完饭后，边收拾碗筷，边送他们出家门。再匆忙地把头天洗的衣服晒出去，打扫房间，换衣服，带晚上买东西用的兜子，边看手表边跑向汽车站，以免上班迟到……

日本有一个调查材料说，有工作的家庭主妇，除上班工作 8 个小时外，在家还要干 4 个多小时的家务。没有工作的家庭主妇，每天要做 8.4 小时家务劳动。

多么费时间，多么累人，多么枯燥的家务劳动。现代社会，人们空闲时间很少，但又希望能有更多的时间学习、娱乐和休息。这是多么矛盾，怎么办？找人类的铁伙伴帮忙，发展家务机器人。

刚发展家务机器人时期，机器人之父英格伯格，在办公室里曾进行过一次实验，命令他的机器人“艾萨克”打开了一个柜橱，取出一个大杯子倒上咖啡，并打铃招呼咖啡已倒好了。日本的机器人之父加藤一郎教授，他家里也有一台机器人。教授对机器人说：“瓦博特，倒一杯茶！”机器人答应一声，并给教授倒了一杯茶。

家务机器人在 80 年代发展很快，水平有很大提高，世界上有好多种家务机器人问世，并走进家庭为人类服务。

1982 年美国的希思公司推出英雄一号机器人，曾轰动了全美。

1983 年年底，美国《人民》杂志记者朱莉·格林沃尔特，特意到密执安州本顿港希恩公司作了一次不寻常的采访。希恩公司让“英雄号”机器人来接待记者，以便扩大影响。这是人类第一次向机器人家族成员作采访。

“哈罗，请允许我自我介绍一下，我叫‘英雄’，”机器人主动向记者打招呼，并且学会了讲奉承话：“你长得真迷人啊！你的愿望就是给我的命

令。”

记者问：“‘英雄’，谢谢你。你的确才华横溢，可是，你到底是什么呢？”

“我是由电子装置控制的机器人，也可以说是一架安装在能转动的轮子上的电脑。”“英雄”号回答说。它又对自己的构成和功能做了一下解释：“我身上有好几种传感器，可以探测光、声、动作和前进道路上的障碍物。我会用轮子按事先拟定的路线行走，还会用手拾捡小的物件。”

记者又问道：“有没有你做不了的事情呢？”

“英雄”号说：“真实讲，我现在还不会擦窗子，嘻嘻。”

记者又提出一个问题：“你怎么会说话呢？”

“英雄”号回答道：“在我体内输入了64种基本语音的‘音素’，这些‘音素’还带有情感变化的色彩。于是，只要你有一本人和机器人对话的特殊辞典，就可以叫我说话。”

“英雄”号接着又进一步表白自己：“真的，我几乎什么都会讲。但是，要是你想叫我我说些污言浊语，我就会骂你‘胡说八道’。我还能够说多种外国语言。我会唱歌哩。”

记者追问一句：“唱歌，是用你自己的声音唱歌吗？”

“英雄”号说：“听起来，我的声音像机器声一样。可别忘了，找本来就是一部机器。”它又自我夸耀起来：“我有一整套记忆仓库，你提前把生日告诉我，等到你生日那天，我就会为你唱‘祝你生日快乐’。我还爱唱‘黛西’这首歌，这是2001年的电脑主题歌。”

记者又提出一个新的问题：“你还有哪些看家本领呢？”

“英雄”号说：“我能检测出8英尺以外的动作和光亮。我还会用手捡东西。不是自己吹牛，我能为小孩了做许许多多的事情呢。”

记者接着说：“这一切都给我留下了深刻的印象。但是，你到底会做哪些实用的事情呢？”

“英雄”号侃侃而谈：“程序编制者教我学会了倒茶，写自己的名字，我能监听电视机的声音大小，若是太大了，我会提醒你：‘声音小一点’。给我装上烟雾探测器，我可以发出失火警报。我能按照程序看家巡逻，围着房子巡视，一旦发现有异常动静，便会高声叫喊：‘警报！’‘警报！’‘有人闯入！’我还会帮助儿童学习，做算术、地理、拼写作业。”

记者说：“在一个商业区里，我看到了孩子们很喜欢你，或许可以说，你马上就成为一个英雄人物了。”

“英雄”号“高兴”地说：“嘻—嘻—，是的，孩子们很喜欢我。”

记者又问：“成年人是否也像孩子们一样地喜爱你呢？”

“英雄”号答道：“是的，有些人要我洗碗、倒垃圾。”它话题一转，说道，“据说，人所以喜欢进行创造并且有创造性，是因为人的身上有点儿上帝的智慧。同样，在我们机器人身上也有点儿人类的智慧。”

记者提了很多问题，“英雄”号回答了很多很多。记者又说：“英雄，我还有一个问题……”“英雄”号抢着说：“哎唷，电压偏低，电压偏低。”机器人认为自己的“表演”差不多了，它竟借托词不再说下去了。

这种机器人很受欢迎，问世后不到10时间内，已销售了14000台，它的广泛使用对机器人服务业起了推动作用。希恩公司销售开发经理道·伯恩汉姆说：

“今后我们会看到，我们公司生产的机器人将进入安全、健康护理、加油站、快餐店等行业和部门。”

从这位经理的一席话，可以看出家庭机器人所起的作用已被社会所承认，也鼓舞了机器人的设计制造者，有信心发展更有用处、更高级的机器人。

## 不吃不喝的仆人

随着社会的发展，生活水平提高，许多家庭需要雇个佣人来帮忙做家务，而佣人却又难找，怎么办？还是用家务机器人吧！

1983年，美国圣诞节礼品真太多了。买礼物的人把柜台挤满了。有一种新出品的机器人特别引人注目。它身高一米左右，外形有点像人，脚下有两个轮子，每秒钟能走半米左右，能转弯，也能后退，当走到楼梯边缘时，会自动停下来。它的名字叫“托仆”。

当孩子叫它一声“托仆”时，机器人马上答道：“哎，主人，我马上就来。”答应声过后，它马上就会走到孩子的前面来。

小家伙一看很高兴，对它提出问题：“你会说话？”

“会的，主人，我会说很多的话。”“托仆”回答道，它又继续做自我介绍：“我还会做很多的事情，会下棋，能帮助你复习功课。但是，我还会洗碗擦玻璃。”

许多孩子不忍离去，父母只好花1200美元买了一台带回家去。

一位小学生回家后立即试试让“托仆”帮他复习地理课：

“托仆”提问：“世界上最长的河？”

回答：“亚马逊河。”

“托仆”提问“世界最大的岛屿？”

……

回答不出来，“嘟、嘟、嘟、嘟、嘟”，5秒钟后，“托仆”说出答案：“请记住，日本东京。”小学生跟着重复一遍“日本东京。”如果不跟着重复一遍，机器人就会不断地重复下去，直到小学生跟着回答为止。

当孩子上学后，“托仆”并不闲着，而是打扫卫生，接电话，告诉对方，家里人外出了，等会再来电话吧。

原联邦德国的“哥伦巴”银行总经理，妻子去世后，孤身一人住在波恩，他想雇一个管家。一天他看见一条广告：

“你想找一位管理家务的管家吗？‘格莱图’一定能使您满意的！”

第二天詹姆斯来到了夸尼科商场，他看见了穿着塑料衣服的“格莱图”。原来这是一种机器人，詹姆斯摸了摸它的手，机器人就主动与他谈了起来。

“您好，主人，请把您每天的作息时间用我身上的键盘输入到我的电脑中，我将按您的要求为您服务。”

“哦！亲爱的，我还没有决定把您买回家呢！”

“没关系的，咱们聊一聊，您就会喜欢我的。”

“你真的会煮咖啡、烧洗澡水吗？”

“真的，请您仔细阅读使用说明书，我的本领都在上面写着呢。”

詹姆斯用雇一个管家4年的工资钱买了一台“格莱图”，并把每天应当干的事“告诉”了它。

以后，它每天早上5点打开恒温器，用吸尘器打扫客厅，再煮咖啡、浇

洗澡水。7点钟，它会慢慢“走”到主人的床前，用嘴（其实是个喇叭）大声喊道：“先生，请您起床，我已经烧好了洗澡水，请您马上去洗澡。”然后，它便“端”过来牛奶、蛋糕等早点。主人还没有吃完早餐，它已在院内为他发动好了汽车，当主人上班前向它道谢时，它会说：“您太客气了，我愿意执行您的命令，祝您一路顺风，晚上见。”若是主人下班回来晚了，它会按照程序，按时把客厅内的灯全都打开，并且不时还弄出声音，让盗贼以为主人在家呢。

日本松下公司在1989年开始出售美食家机器人。这种机器人身价是150万日元。它能向您介绍300多种美味佳肴的烹调方法。当您靠机器人提高了烹调技术时，您就会想请朋友到家来美餐一顿，显显你的手艺。这种机器人还可以告诉您冰箱里有什么东西，用这些东西可以做什么菜。它还能计算每餐的热量卡路里是多少，为家庭主妇当参谋，准备每餐的食物。

1989年，在日本市场上，有一种家用演员机器人，它在家庭晚会上充当演员，演出丰富多彩并充满情趣的生活剧，而且形态各异，生动逼真。

美国制造出一种“机器人陪女”。在过去，国外有钱的贵妇人或未婚的小姐，常用高价聘请年轻女子作伴，以消除无聊和寂寞。今天，已开始用机器人作伴。用机器人作伴好像是一种愚蠢的想法。其实呢，机器人作伴，可能是有用而且有趣的。

美国制造的“机器人陪子”身高25厘米，体重不到5千克，但它能向主人亲切问候“早安”、“晚安”，还会讲有趣的故事，陪主人下棋、打牌、看电视和聊天。

美国的国际商用机器公司制造的家用机器人，不但能胜任任何一般家庭佣人的工作，如清扫吸尘、擦洗地板、清扫房前积雪，倒酒送茶等工作，而且能边干家务，边为主人讲笑话，以帮助主人消遣。

1991年，南朝鲜开发出家庭服务机器人。它能够绕着房子运动，检查是否有不速之客闯入，或者检查是否会发生火灾。发现有异常现象，它会自动通知警察局或者消防中心。在巡逻中，它不会撞到障碍物上，也不会掉到阶梯下面去。

日本松下电器公司负责人谷井前不久说：“不久，公司将出售家庭用的和商用的自动清洁机器人。”

这种机器人能记住要清扫的一些地方的地图和环境，自动进入房间的门内去除尘。因为它用蓄电池作动力，所以，它后面不拖“尾巴”。它能自动躲过障碍物，也能够自动地分清地板和地毯是什么样的，可以选择适当的真空吸嘴。这种机器人在作完清扫工作后，能够自动地回到房间一个角落去，自己去充电，以便下次再去清扫房间。

家用机器人的各种各样的本领和运用真是说不完的。但是可以这样说：

“像家务那种简单劳动，能不干谁都不愿意干。从很久以前起人们就想，如果让在科幻电影中出现的那种机器人给我们做家务那该多好。让人们这种愿望成为现实，这也是我们技术人员的多年梦想。微电脑的飞速进步使实现这个梦想已指日可待了。”

“按一下电钮就可以代替人做家务的机器人，今后将不断问世，估计1995年以后将迎来普及时期。”

“用家务机器人代替家庭主妇进行枯燥的家务劳动，使她们过更轻松一些，舒服起来，已变得越来越现实了。”

但是，人们的欲望永无止境，家庭主妇还希望身在厨房就能把大门打开，把洗澡间准备好，这就要家庭实现完全自动化。

## 不怕核辐射的“人”

在有放射性物质的条件下进行操纵、检查、维修设备，或在发生事故之后进行善后处理，目前多用遥控式机器人，也有少数的自主式机器人。

早在 40 年代末期，美国阿贡立国实验室研制成功的世界上第一台有力感觉的“主从机械手”，起名为 MI 型。它是人操纵一个“主动臂”，在现场的“从动臂”就和主动臂进行完全相同的动作。这样，人就可以在安全地方使“从动臂”在现场完成各种工作。这种机械手的“主动臂”和“从动臂”是靠机械元件来实现联系的。所以，人和现场距离还很近。

60 年代初期，不少国家研制成功一种真正的远距控制的电动式的机械手，“主动臂”和“从动臂”是通过电缆或无线电信号联系起来的。后来又采用了电脑进行控制，使核工业中所用的机器人发展有了一个重大突破。

1979 年，美国三里岛发生核污染事故，美国政府与贝奇特尔公司签订了合同，清理核污染。当时预计整个清理工作需要 9 年时间，耗资需 10 亿美元，仅就 2 号反应堆就要 21600 人次轮流作业。这一工程真是浩大啊。

但是，这一公司用了 3 台核工业机器人，这是由美国卡内基·梅隆大学研制的机器人。用机器人很快就清理了 10 万加仑放射性垃圾，只花费了 80 万美元。节省了大量开支，提前了很多时间，这样的功效使这种机器人名声大振。

80 年代，威斯汀豪斯电气公司研制出“罗莎”型核工业机器人。它能快速地爬入核电站内部和反应堆的联接管道内，用不了一个小时就能够查明损坏情况，并把损坏的管道焊接好，每次维修至少能节省 50 万美元。这种维修机器人，把人从危险的作业中解放了出来。

在过去的 10 年间，这个公司已有数十台核电站维修机器人投入使用。

日本花了 8 年时间花费了 200 亿日元研究极限作业机器人。研制出的机器人有一种是用在核设施中进行作业的。这种机器人长 1.2 米，宽 0.7 米，高 1.73 米，重 750 公斤。它用 4 条腿走路。它会自己识别周围环境，所以不但可以在平地上行走，而且能上下台阶，跨越障碍物，甚至能钻进狭窄的空间中去，进行维修。机器人手指尖上有灵敏的传感器，把感觉到的情况传送给操纵人员，使操纵人员能很平稳、准确、用力恰到好处地操纵它。

法国、德国、意大利等国家，核工业机器人也得到了很好的应用。

不过，相对一般工业机器人来说，核工业机器人的应用还不算广泛，而且有时也有意外事故发生。

核工业机器人发展很快，性能会更加提高，预计到本世纪末，有可能完全代替人在具有放射性的环境中完成直接作业。以前的核工业中应用的机器人绝大多数是遥控机器人，目前也发展有自主型机器人。遥控机器人是这样工作的：操纵人员在安全地方，从控制台上发出信号，用有线或无线的传输方法把信号传到现场上机械手处，它按照人的命令工作，并把工作情况及周围环境都用摄像机拍摄下来，送到工作台的监视器上；另外还有许多传感器，测出机械手工作时情况（如受阻力大小）也反馈给操纵人员，以使其能更好地控制机械手工作。现在也发展有用计算机进行监控。

## 太空机器人

人造卫星可以说价值连城，如果有些部件出了毛病，整个卫星就丢掉，实在可惜。人们又想到了机器人，用它去把失灵卫星抓回修理。

1984年美国“挑战者”号航天飞机飞入太空，并带了一个长15米，价值1亿多美元的“加拿大”机械手。为什么带这样的一个价格昂贵的机械手呢？原来计划用这个机械手把已经失灵的“太阳峰年”卫星抓回来，以便修理好。

“太阳峰年”卫星是专门用于探测太阳活动情况的卫星。太阳的黑子活动对地球气候，灾害有很大影响。1980年发射的这颗卫星已出现了故障，失灵了。1992年又是太阳活动的峰年，再发射一颗这样的卫星要2亿美元。所以把希望寄托在“加拿大”机械手身上了。

第一次由航天飞机指令长克里平操纵机械手去“捉”卫星。因为卫星的自转速度太快，机械手老是抓不住它。

宇航员向地面报告，请求地面把卫星的自转速度降下来。美国马里兰州航天中心地科技人员用无线电指令“命令”它把自转速度减下来。

4月10日，克里平驾驶“挑战者”号航天飞机追赶这颗卫星，用火箭使航天飞机加速，绕地球转了三圈之后，终于追上了卫星。宇航员哈特在密封舱内全神贯注地操纵机械手，在离卫星15米时，他动作很敏捷地伸出机械手，抓住了这颗卫星。哈特这时异常激动，向地面指挥中心报告：“我们抓住了。”当时的美国总统里根也很兴奋，特向他们表示祝贺：

“你们用机械手抓回了那颗卫星，这是为人类作出了一次巨大的努力，具有历史意义！”

4月11日，宇航员范霍夫坦和纳尔逊花了3个多小时，对这颗抓回的卫星进行了检查，并且把它修好了。4月12日，又由哈特用机械手把卫星放回了飞行轨道。机械手帮助人把这颗已经3年不能对准太阳，在空间空转的卫星回收回来，修理好了。

这次成功，宣告卫星损坏了就扔掉的时代一去不复返了。

人类向太空发射的飞行物越来越多，而且很多废弃物在地球周围飘浮，估计在地球低轨道上有7000块大型人为的垃圾，还有350万个比人手指甲还小的垃圾片。因为它们飞行速度很高，每小时2700公里，这对人类的宇宙飞行是极大的危险。科学家们又想到了机器人，要请它们来帮助清除这些垃圾。

美国科学家设计出一种专门清除太空垃圾的机器人。它可将大块垃圾切开，并装入贮存箱内带回地球，在进入大气层时，垃圾在与空气激烈的摩擦中会因温度过高而烧毁。

当然啦，清除太空垃圾也不是非得机器人不可。美国休斯顿约翰逊飞行中心发明了一种可清除太空垃圾的风车。风车把垃圾撞得速度减慢下来，使其渐渐地坠入地球的大气层中，在与空气产生激烈摩擦中而烧毁。

在空间进行工作，这只有少数人才能胜任；修旧利废，回收处理废品，这是多数人不愿意承担的事情，而让机器人去干这些事情，真是既有高超的能力，又有任劳任怨不挑不拣的精神，确是难得的“一把好手”。

## 机器人探月宫

开发宇宙，是人类新的使命。在航天活动中，人类已创造了许许多多的奇迹。但是，宇宙空间和地球表面不同，人在宇宙空间活动受到限制，有很大的困难。

这是因为，离地球数十公里的高空以外，几乎就是真空了，没有氧气，当然也没有水，没有食物了。在太空飞行的宇宙航员要穿宇航服，由地面带去的罐头食品，时间一长则吃腻了，要用运输航天飞机特地送去新鲜食物。为保证宇航员在太空正常活动，每天每人要花费 50~100 万美元，实在耗费太大了。

在太空飞行或工作，生活单调，活动范围小，环境艰苦，孤独寂寞，还要承受失重和强烈的宇宙放射线的照射，条件十分恶劣。

航天飞行中，偶然也还有事故发生，从 1967 年到现在，已有数起意外事故，有十多名宇航员丧生。

如果用机器人去到宇宙空间，代替人完成各种工作，就比人优越多了。历史上已有很多事例。

1969 年 7 月，美国实施“阿波罗计划”，把人送上月球，并平安地返回地球。这件人类历史上的创举，使人们惊叹不已。事实上，在人类到达月球之前，美国已经先派机器人作了开路先锋。1967 年 4 月，美国一艘飞船带有一个机器人飞向月球，它叫“勘测者 3 号”。它先绕地球飞了三圈，一边飞，一边拍摄照片。这个机器人是遥控机器人，所以，当地面控制站发出命令它登月时，它自己撑开了降落伞，启动降落火箭，准确地降落在月球上。

月球是一个荒凉寂静的世界，月球表面有厚厚的尘埃。机器人用机械手铲起尘埃，放到自己身上所带的容器内。它用利爪在月球表面挖出一条沟。并拍下了许多彩色照片，然后它又自动启动火箭，飞离月球，回到了地球。

科学家们对机器人“勘测者 3 号”带回来的尘埃及照片进行化验和分析，发现月球上既没有水，也没有任何的生命。

前苏联也曾用机器人代替宇航员，对月球作了很多探测工作。1970 年 11 月 10 日，前苏联发射了“月球 17 号”飞船，上面带有一台叫“月球无人探测器 1 号”的机器人。这个机器人在月球表面一个“雨海”的地方着陆。这台机器人外形像一个带盖的大盆，体重 756 千克，身長 3.2 米，宽 1.6 米，用摄像机当“眼睛”。人在远离月球 38 万公里的地球上的指挥心里发号施令，通过无线电波指挥这台机器人动作。它用轮子在月球表面上跑来跑去。在 11 个月里，它拍摄了 200 多张全景照片，2 万多张局部照片，并分析了土壤成份，记录了月球表面温度从 140 降到-140 的变化。它为研究月球立下功劳。

后来，还有好几个机器人登上月球表面进行考察。

日本制造月球车，专门用于勘探月球高纬度地带。这一月球车是用铝合金及碳纤维特强材料制成的，很轻。这一机器人也是遥控的，由地面控制。不过它还有自动驾驶操纵程序，当它与地面联系中断时，可以由其程序识别周围地形，用图像处理技术分析地形，确定自己的位置，进行自动行走。它的机械臂可以搜索月球表面，这一月球车已和世人见面，预计 2000 年，它将到月球上去工作。

过去，机器人在宇宙空间曾显示过不凡的身手。将来机器人在开发宇宙空间中，会更有用武之地。

法国科学院太空研究委员会主席罗伯特·卡斯坦认为：“就大部分太空研究，太空实验和科学观察来说，机器人自动化卫星更为有效，而且花钱也少。将人送入宇宙，从近期看是摆阔气和炫耀，应把载人航天所花的钱省下来，用于空间机器人的研究。”

开发宇宙要经过漫长的道路，不过，在未来近 20 多年时间，即到 21 世纪初，有可能建立永久的近地轨道站和月球基地。

被称为现代科学幻想小说“创造人”的伊萨克·阿西莫夫，在法国杂志记者卡期吉里与他座谈时说：

“在月球上修建住人的基地也是可以实现的，这不仅能使人们去深入研究太阳系的起源，而且还可利用它来获取人在宇宙中‘生活’所需的各种极重要的矿物原料。”

美国计划在月球上建立“空中之城”，需要 1000 亿美元。首先开辟出临时基地，之后再建立永久基地。这个“月球城”是直径为 1~2 公里的轮形城市，城内有工业区，农业区和生活区。

机器人在开发月球中可以完成许许多多的事情：摄像机器人把拍摄到的图像送到空中居住区内，或通过卫星送回地球；基建机器人完成铲挖任务，或进行熔炼等作业；作业机器人用手爪完成装设管子或电线工作，抓取各种物件；维修机器人能自己修好发生故障的机器；生产机器人进行各种生产，特别是药物生产和半导体器件的生产，因为在太空中生产的药品和半导体器件的“纯度”比地球上生产的要高上好多倍。

机器人是开发月球探索宇宙的重要的一员。人类想登上火星，飞出太阳系，更少不了机器人。

## 工业机器人

1959 年，由英格伯格和德沃尔设计的，由美国尤尼梅逊公司生产的世界上一台工业机器人，叫做“尤尼梅特”，意思是“万能自动”。1962 年，机械与铸造公司又制造出另一种工业机器人，叫“沃尔萨特兰”，意思是“万能搬运”。这两种工业机器人把机器人引上了实用的道路。在以后十多年时间，各国所引进的、仿制的机器人，都是以它们做为“模特儿”的。

这两种工业机器人都是“示教再现型”机器人。这是第一代机器人典型的代表。它们的工作原理是这样的：人手把着机械手，把应当完成的任务做一遍，或者人用“示教控制盒”发出指令，让机器人的机械手臂运动，一步步完成它应当完成的各个动作。这个过程叫“示教”，是人“教”工业机器人的过程。机器人有一些叫传感器的装置，把机器人各部分运动范围、运动速度等测量出来，依次送给机器人的记忆装置，它可以把机器人各部分运动顺序、位置、速度等记录并存储起来。这一过程也叫编程过程。当需要机器人工作时，记忆装置把上述信号依次放出来控制机器人各部分动作，这是再现过程。它的动作完全再现了人“教”给它的动作，并且可以自动地、不断地、反复地干这样的工作。

当然啦，为了机械手臂能运动要有一种驱动装置，它相当于人的肌肉一样，是产生“力气”的装置。由此看出，工业机器人主要有几大部分：机械手臂、控制（包括记忆存储信号）装置、机座、能源装置。按机器人机械臂结构分为：像龙门吊那样的直角坐标式的，像炮塔那样的球坐标式的，像吊

车那样的园柱坐标式的，还有像人手臂的关节式的机器人。

美国 60 年代初制造出来了两种机器人，这本来是一件划时代的大事。但是，很可惜当时并未引起国内的重视，也并没有得到国际上的青睐。这是因为当时的机器人造价很贵，安装费用也高，再加上质量不好，每星期要出一次故障（无故障时间只有 100~150 小时），定位精度只能达到几毫米，所以收益很差，人们都不敢买它，只有一些喜欢新奇的企业家才订购机器人去试试。当时制造工业机器人的厂家只好在各种场合进行宣传，作广告，到处进行表演。政府没有采取积极扶植的政策，所以发展很慢。

1967 年，日本的丰田织机公司、川崎重工业公司引进美国工业机器人。日本虽然当时对工业机器人技术还不能掌握，当时引进机器人引起很多企业界、技术界甚至科学界以及一般人的好奇心，参观人非常之多。日本人很注意机器人技术和本国的社会经济发展相结合，把引进的机器人很好地研究，除了仿制外，还不断进行改造，结合自己国家的实际情况进行推广和创新，所以很快就研究开发出自己国家的机器人。由于日本当时经济发展，机器人可以解决劳力不足，能防止职业病，提高劳动福利，再加上能提高生产率等，所以机器人技术发展很快，1989 年日本机器人技术已能和美国相提并论，更主要的是工业机器人得到广泛的应用，达到普及阶段。日本自称 1980 年为机器人元年，自己是机器人王国。

世界其他国家，如前苏联、德国、法国、瑞典、挪威、中国等国家也相继引进和发展工业机器人，使机器人大家庭人丁兴旺，它们的“子孙”在世界各地扎根成长起来了。到 80 年代初期，第二代工业机器人，即有感觉器官能在外界变化时可以完成复杂任务的机器人，已达到了实用阶段，而有智能机器人已开始大量进行研究。90 年代，第二代机器人已达到普及阶段了，这时工业机器人已有 45 万台。

工业机器人身披钢盔铁甲，一般都是“从事”重体力劳动，国际劳工组织称它是“钢领工人”。

## 中国机器人

下面的这个故事，说的是我国机器人是怎么研究制造成功的。

故事的主人公叫余达太。1979 年春，他刚过 30 岁，北京钢铁学院就将他派到日本，在九州工业大学读研究生。这个时候，日本的机器人技术已经很发达了。我们的国家，由于种种原因，曾经有过一段发展机械手的热潮，并且全国范围内花费了不少钱，但是，没有几家工厂真正得到实际应用。我国机器人发展进入了低潮。

余达太就是在这种情况下，去日本攻读机器人有关理论的。他的导师是山下忠教授，有名的机器人专家。

余达太是一位具有雄心的年轻人。他看到了自己国家在机器人技术上的差距，也触动了炎黄子孙的自尊心。三年苦读，13 门功课全部获得“优等”，获得工学硕士学位，并进入日本安川电机公司机器人研究室实习。这家公司是世界上一家著名的机器人制造公司。

你看到工业机器人，外形和一般机器差不太多，但是设计、制造机器人要用到机械、电子、控制、电子计算机、信息处理等许多科学知识。机器人是属于高新技术，很多东西是相互保密的。余达太是一位有心人，为了回国

后发展机器人，他用自己从生活费中节省下的钱，还有半年工资，购买了近千本资料和书籍，预订了三种日本出版的机器人方面的杂志，一订就是5年！他还没有重新踏上祖国的大地，就把一颗火热的心放到机器人身上了。

余达太回到祖国以后，着手研制中国的机器人。然而，要制造出一台新的、真正“能起作用”的机器人，并不是那么简单。不但要找到用户，而且要花上几十万元，需要有许多专家、技术人员合作，并且要花费成年累月的时间！想干这样大的“工程”，先要进行充分地调研。

他从南到北，从东到西，跑了很多省市，进了很多工厂、生产研究机关，进行了调查研究。这时，在我国的大地上又掀起了研究机器人的高潮。

1983年1月11日下午，北京钢铁学院召开了研究制造工业机器人的技术论证会，审查余达太提出的申请报告。他们提出的制造方案是采用关节式结构，这是80年代国际上比较流行的结构形式。因为关节式机器人优点多，它在各个方向都可灵活地高速动作，并且手腕到达空间某一个点可以有多种方法，工作空间也大。但是，也有大困难：关节机器人有肩、肘、手腕，以及整个手臂转动，每个转动都要一个电机加上减速机构。为了机械手指能拿动一定重物，并有一定运动的速度和加速度，而且运动中不发生颤抖，定位准确，就要求大臂、小臂、腕子有一定质量，这样驱动各关节的电动机就要大些。肘关节及腕关节电动机不宜直接放在各个关节处，而是放在机身附近，这样才能保证小臂及腕子不太重，可以省些“力气”。但是，它又要解决电动机与关节之间用拉杆和链条传动问题，传动效率也低，所以也有很大难题要解决。当时还很少用直接驱动的力矩马达，所以设计传动机构要求精确分析计算，找到最好的方案。

这次方案审查会，有很多领导、专家和教授参加。会上有的是鼓励，有的是质疑，还有一位专家幽默地说：

“余达太，你要搞关节式机器人，我看，你得小心机器人别得关节炎。”

是啊，制造一台具有世界水平的机器人谈何容易，俗话说的好：“看是容易，做是难。”

难，制造新型的工业机器人有许多困难，就像拦在机器人发展道路上的一座“大山”。但是，中国有许多科技愚公，敢于搬这座“大山”。当院领导让余达太自由组阁时，他的同学，老师来了，还有副教授，讲师，女将，刚刚毕业的学生来了，组成了一个十多人的“搬山队”。

真如搬山一样，在短时间内要学习掌握必要的机器人方面的理论知识，特别是，要弄懂没有任何说明的“软件资料”，这真好比读天书。当年，日本人把这些资料交给余达太时，曾意味深长地说：“这是天书一本，你拿回去，也看不懂。”——他们一边学日语，一边读天书，就是要把它弄懂，弄出个名堂来。

是不是可以绕过“软件资料”这个拦路虎呢？不能，因为这个机器人有五个自由度，也就是有五个独立运动，也就是说，它有五个关节，每个关节有一个电动机。为了机器人手爪在空间走二条曲线，人“教”它时，常常是反映手爪（也叫操作器）在空间应走过的几个点告诉它。其他各点（有很多很多点才能连成一条光滑的曲线）要由机器人电脑来计算。更难的是，要把手爪空间的点，变成各关节应当怎么运动的数据，还要由电脑算出各关节抬举多大角度，速度该多大？这是很难的“空间机构运动学”问题。还有呢，机器人各关节是由电动机驱动的，每个电动机加上多大信号进行控制，才会

使各关节运动得恰到好处呢？这要进行所谓的“动力学”计算，要考虑各杆呀、件呀的质量、长度、运动速度、加速度、摩擦力等许多因素，算起来相当复杂。另外，还要考虑起动、停止、动作顺序、安全等等许多问题。这些事情都是由控制装置（主要是由电脑）来完成的。不过，人们的想法，计算方法，很多问题，电脑都不懂，它只懂自己的“语言”。人和电脑之间交换这些信息，还要用到一种高级语言的知识，这也就是软件。这些问题，都是设计机器人绝对少不了的“软件资料”。软件资料对不同的机器人是有很大差别的。

搬“大山”就要付出艰辛的劳动！为了尽快尽好地设计出机器人，在1983年炎热的夏天，他们在“三大火炉”之一的南京的一家招待所里整整苦战了一个月，拿出了最初设计图纸。

搬“大山”，就要天天挖山不止，不怕天长地久，只有一个念头：成功！余达太和他的同事，就是这样的人，机器人用的电子计算机，由原来的八位变为16位；为了使机器人“大脑”赶上世界先进水平，他们三次修改方案。他们的信念是：“要赶超世界机器人技术水平，只能起点高，走自己的路才行。”他们就在这条路上，一步一步地又走了两年！

研究试制工业机器人最困难的问题是钱！中国科学院计算中心技术服务公司慷慨解囊，拿出30万元，并说：“我们投资，你们干吧，失败了，算我们白交学费，豁出去不盖宿舍楼了！”钢铁学院院长手内仅有10万美元的外汇，竟一下子给他们3万解决进口设备问题。就凭这些“上帝”，他们怎么会造不出机器人来呢？

他们后来成功了，他们有一个很好的经验：“我们的成功秘是 $1+1>2$ 。”——有“内耗”的地方，一个人加一个人不等于二个人，在他们团结集体里，一加一不等于二，而是大于二。他们没有“内耗”，有的是共同动手，动脑，动手！有的是相互帮助，相互谅解！

他们成功了，由他们研制的BJM（北京人）—1型弧焊工业机器人很顺利地通过了技术鉴定，并且成功地在南京汽车制造厂承担汽车生产线上的焊接工作，不但提高了产品质量，而且改善了工人劳动条件，获得了经济效益和社会效益。

他们成功了，以他们为基础，很快发展成为一个机器人研究所，余达太被任命为所长。他成为一名在机器人技术界有名气的人物。

## 其他机械的发展

### “魔棒”“变”出了复印机

说来有趣,现在广泛采用的复印机是美国科学家查切斯特·卡尔森受“魔杆”玩具的启发而发明的。

1930年,卡尔森大学毕业后忙着在纽约一家电器公司当办事员。每天从早到晚,他都忙着打印书信,抄写书稿,复制图片和报表。枯燥繁琐而又单调的工作,使他逐渐厌烦起来。

当时,美国的一些大公司已经在运用照相技术来翻拍和复制文件,然而这种办法操作复杂,成本又高,很难普及使用。卡尔森就悄悄对公司的照相复制设备进行改进,摸索出一套简便实用的新方法,受到了经理的赞扬。但他对此并不满足,想发明一种更快捷的办法,即把要复制的文件塞进机器里,一按电钮,就能得到一模一样的副本。如果能造出这样的机器,那该多好啊!卡尔森心里盘算着。

这时,他不由得联想起童年时玩过的一种“魔棒”玩具。这是一个像笔杆一样的长棒,用它在白纸上涂画,然后撒上一层五颜六色的金属粉,结果这些金属粉就会使涂画过的图案、字迹在纸上显出来。

想到这里,他立刻找来“魔棒”在办公室里琢磨起来。为什么金属粉会显出图案和字形呢?啊,原来这是静电感应起作用。用橡胶制成的“魔棒”在纸上摩擦后,就会使纸带上正电荷,而撒上的金属粉带的是负电荷,根据异性电荷相吸的原理,结果就会在纸上显出用“魔棒”涂过的图形和文字来。

在“魔棒”的启发下,卡尔森找来许多静电学方面的书籍学起来。他起早贪黑地学习着,甚至在乘坐地铁时还在思考:怎样才能使图形和文字从一张纸上传到另一张纸上去呢?

掌握了理论知识后,他便开始进行研制和试验。为此,他用微薄的工资租下一间小房做实验室,又请了一位助手来帮忙。经过反复试验,卡尔森找到了一种涂硫的金属板,摩擦后它能带正电荷。为了使原稿的字迹能清晰地印出,他又搬来照相机,用曝光使静电感应的效果更强。

1938年10月,他和助手拼装成了一台简单原始的复印机,并开始调试。卡尔森用手帕在涂硫的金属板上使劲摩擦,使它产生正电荷,然后用灯光透过玻璃对金属板曝光,同时在金属板上撒上带负电荷的石松子粉(相当于现在复印机用的碳粉)。不一会儿,金属板上就清楚地显示出在玻璃上写出的字样。接着,他又小心翼翼地把一张蜡纸平压在金属板上,蜡纸上很快就复印出同样的字。啊!静电复印成功了!卡尔森和助手高兴地拥抱着跳起来。

此后,卡尔森带着这台初试成功的复印机四处表演,进行宣传。但富有的商人和老板们却讥讽嘲笑他,认为他的复印机是个“粗糙的大玩具”,无利可图,谁也不肯出钱帮助他完善这项发明。但卡尔森不理睬这些,凭着自己坚强的毅力继续进行钻研改进。“功夫不负有心人”,又经过几年的奋斗,卡尔森终于在1947年创制成功了世界上第一台静电复印机,为人类社会文明的发展,做出了应有的贡献。

### 从制冷机到电冰箱

获得热很容易，但是想在热天得到一些冰，却不是一件简单的事情，罗马帝国的皇帝为了喝冷饮，驱使奴隶到高山上却取冰，冰水和血水洒满坎坷不平的山路。

我国古代则在隆冬季节采冰，存放在地窖里，以备夏天使用，科学家培根为了研究鸡肉为什么在冰雪里不腐烂，自己建了一个埋在地下的冰库，每天去观察，后因着凉而死，看来获得冰不是一件容易的事。

1540年，在意大利的罗马出现了一种化学冷却法，当用水溶解硝酸钾的时候温度会下降，比拉夫郎卡在一本名为《冷却法》的书里称这是他发明的，据说这样冷却的葡萄酒喝了以后，使人的牙根受不了。

18世纪中叶，人们知道空气突然膨胀后会使温度降低，美国的戈里利用这个原理做了一个机器，并用它制出冰来，这个发明使人感到十分惊奇。《环球》报说：“在佛罗里达州有一个怪人，他说他和万能的上帝一样能用机器制冰。”

但是这种机器的效率很低，我们都知道一种简单的冷却方法，就是蒸发，如果在手背上涂一些酒精，我们的手会感到十分凉爽，涂乙醚效果就更明显，医院里用这种方法来进行麻醉，原因是酒精或乙醚蒸发时要大量吸热。

不过用这种办法来获取冰要损失大量珍贵的乙醚，珀金斯在想，能不能不让乙醚散失，循环使用呢？1834年，他制作了一个手动制冷机，用的工作物质是乙醚，机器内的乙醚可以反复使用，并获得一项专利。一个夏天的晚上，他的助手用这台制冷机的模型制得少量的冰，欣喜若狂地机械师用毯子把冰包起来，乘上出租汽车穿过伦敦驰向珀金斯的住宅。这是第一次用闭路的压缩和蒸发的办法获得的冰。其原理和现在电冰箱的原理类似。

科学家发现利用压缩的办法可以使一些气体液化。18世纪末，马隆液化了氨。如果把液态氨突然汽化就可以得到很低的温度。这给获得低温开辟了道路。

1876年林德完成了世界上第一台制冷机，利用了液氨。氨可以在制冷机里反复使用，加压使氨气变成液体，蒸发得到低温，再压缩成流体反复使用。

当时澳大利亚的食物堆积如山，而欧洲的食品短缺，法国的蒂尔把林德的制冷机放在弗利克斯菲克号远洋运输船上，装上了澳洲的牛肉，人们不相信这些肉能运到英国而不腐烂。《泰晤士报》把这件事当为笑谈。冷冻船在海上航行了3个月后，当载着少量的鲜肉胜利地抵达伦敦的时候，那些冷嘲热讽就烟消云散了。不久，澳大利亚就开始制造这种冷藏船了。

1902年美国的卡利亚在制冷机的启发下首创了小型家用电冰箱。1913年在美国芝加哥，制造了世界最早的家用电冰箱——“多梅鲁亚牌”，是木制外壳，里面装有压缩机。

现在的电冰箱用的工作物质是氟里昂，这种物质对大气有污染，所以科学家正在寻找更好的代用品。除了用蒸发的办法制冷以外，还有许多其他的方法。例如使用半导体器件，磁性元件及声学的方法都能达到致冷的效果，这些新型的冰箱正在研究之中，无氟冰箱已经进入家用。

## 造纸机的发明

中国发明的造纸术，是以手工作业为基础，依靠技师手抄纸（竹）帘，一张一张地捞纸，然后干燥而成纸张。在那漫长的岁月里，纸张尺寸因受抄

纸帘的限制，一般都不很大，主要供毛笔书写之用。公元 8 世纪，造纸术传入欧洲。

18 世纪，英国发生了产业革命，蒸汽机的发明，电能的应用，为从手工业工场准备向大机器生产过渡创造了条件。在欧洲，由于德国印刷机的出现，对纸张提出了更新更高的要求。

1793 年，法国一家印刷所的年轻学徒罗贝尔正忙着干活儿。他的师父大胡子朝他嚷道：“喂，拿错纸了，傻瓜！”罗贝尔赶紧过去。师父停下手中的活计，鼓着眼生气哩。

原来这家印刷所每天要印制许多小批量的印刷品，经常更换不同规格的纸张。一到印件额满后，有时就出错。罗贝尔受到师父的斥责，闷闷不乐地回家。他晚饭也吃不下，倒头便睡下了。半夜，罗贝尔睁开眼，反正睡不着，胡思乱想起来：

纸，为什么一张张的？

纸，能不能卷成一卷？

纸，是怎样造出来的？

……

一连串的问号，在他眼前闪动

从此，罗贝尔利用工余时间，到附近的造纸工厂去参观、调查、绘图、计算。他开始懂得一点造纸的道理了。

薄薄的一张纸，造起来并不容易。首先，要取得纸浆（就是植物纤维与水的混合物），这些纸浆必须经过打浆处理。其次，把纸浆平摊在一张铜网上，水从网子流走，纤维交织在网上——便成了一张湿纸页（其尺寸依抄纸网而定）。再次，是湿纸页移到毛毯上，压榨，除去多余的水分。这一道工序，全靠人力完成，中间还有间隔时间。不仅劳动强度大，时间也不短。尤其是造出一张一张的，不能满足印刷的要求。

能否造一张“无限长”的纸呢？一个幻想在他的脑海中升起。能否用连续化的生产来代替这间些歇式的操作？另一个问号又冒出来了。经过 5 年的努力奋斗，1798 年，罗贝尔终于制作了一个环形的“无端网带”，这就是长网造纸机的“胎儿”。纸浆流入网带上，随着手轮的摇动，洁白的纸页就不断地抄造出来。遂而申报了专利。

1799 年，罗贝尔到了英国，鉴于经济窘迫，便把该项专利权卖给了伦敦文具商亨利·福太尼亚。由亨利出资，聘请机械工程师唐金加以改良，按原来的构思重新设计。又经过了 5 年，1804 年，唐金把造纸机按生产流程分为：铜网部、压榨部、干燥部以及卷纸部等。这样第一台实用型的长网造纸机终于完成。由于这种造纸是受亨利的经济支持后才得以实现的，因此有人称它为福太尼亚机。

### 费曼梦想成真

理查德·费曼是美国的一名物理学家。这位 1918 年生于纽约的杰出人物于 1965 年与许温格和朝永振一郎一起分享该年度的诺贝尔物理学奖金。因为他们对量子电动力学的基本粒子物理学做出了杰出的贡献。

1959 年，费曼突出奇想：“原子能不能按照我们的意志个个地排列呢？如果能做到这一点，又会产生什么样的结果呢？”当时，这只是一个美好的

梦想，谁知到了 80 年代，费曼竟然梦想成真。

1982 年，德国国际商用机器公司苏黎世实验室的宾尼和罗雷尔发明了新一代的电子显微镜——扫描隧道显微镜，它以空前高的分辨率为我们揭示了一个可直观的原子、分子世界。稍后不久，又发明了原子力显微镜，它也可“看”到原子，并且用途更为广泛。

扫描隧道显微镜不同于以往普通的显微镜，它是通过一根极细的针尖来观察物体的，因此，它的分辨率高得能够直接看到物质表面的原子结构，比电子显微镜还要高 10 多倍呢！更为惊奇的是，扫描隧道显微镜不仅能“看”到原子，还能通过它与物体表面的相互作用移动原子。这样，当时许多科学家认为，要不了多久，费曼关于移动原子的梦想就会变成现实。

1989 年的《时代》周刊上，刊出了一幅奇特的照片：由 35 个原子排列成的“IBM”3 个字母。这便是由美国 IBM 公司的科学家在扫描隧道显微镜下移动镍晶体表面的氦原子“写”成的，这 3 个字母被称为当年最不起的公司广告。这一技术是在—263 的液氦温度下进行的，当然是十分不容易的。

1990 年 7 月，在美国巴尔的摩召开了一次科技会议，正式标志着这一超微技术的诞生，并且命名为“纳米科学”。纳米即毫微米，也就是 1 微米的万分之一，这样小的程度，连技艺高超的微雕大师也要自叹弗如了。

此后，纳米科学又一步步地向前迈进着。1991 年，日本日立制作所中心研究实验室的科学家，在室温下写出了一行原子文字：“PEACE '91”，意为“和平 '91”。德国科学家在 2 至 3 个原子的尺度上，在常温常压下进行刻蚀，并获得了成功。美国斯坦福大学的研究人员在百万分之一的头发丝上描绘出了“葛底斯堡”的地址字样，又在 100 纳米的尺度上，绘制了一幅斯坦福大学的校徽，真是惟妙惟肖。

科学家们预言，正如 70 年代微电子技术产生了信息革命一样，纳米技术将成为下一个信息时代的核心。

## 微型机器神通广大

人类已经能够把电子器件制成集成电路，在一块指甲大小的片上“集成”成千上万、数十万甚至几百万个电子器件。那么，与之相配的机械装置能不能也“集成”一下呢？自从科学家在纳米科学方面取得了长足进展以后，微型机器已不再是幻想。从 1987 年开始，美国、德国和日本等国走在了研究的前列。美国的贝尔实验室、加利福尼亚大学柏克莱分校、麻省理工学院等先后研制成功了直径只有 125 微米、60 微米、600 微米的晶硅汽轮机和硅静电马达，转速可从每分钟 2400 转跃升到 60 万转。前苏联著名的飞机设计师苏哈夫制造成功的超微内燃机，它的汽缸容积仅 90 毫升，重量仅 12.5 克，每分钟转速可达 12000 转，使用的燃料为甲醇、蓖麻油、甲烷的混合物，每毫升燃料可工作 45 分钟呢！

更令人惊叹的是，日本东京大学中岛尚正教授等人研制出来的超微发动机，汽缸容积只有 0.11 毫升，它是利用电热器加热，通过气体体积的变化来推动活塞作上下运动的。这种超微发动机用作超微机器人的动力源，是再合适不过了。

微型机器可以制成一颗小小的“药丸”，医生让病人吞进肚子里，便可以从病人旁边的监测仪上精确地测知病人体内各处的温度是否异常。原来，

这台微型机器是由一个微型硅温度计和一套微电子线路构成的，它能不断地向体外和监测仪发送它所测量到的温度信息。

在作血管成形手术时，为了清除血管壁上的硬化斑块，就必须在病人的动脉中放进一个小气球，并在气球后面拴上一台微型机器——压力传感器，以便及时地告诉医生清除斑块的进展情况。如果将微型机器注入脑血栓患者的被阻塞动脉内，就可以完成动脉的疏通，接好被切断的神经，使脑血栓患者获得康复呢！

在进行视网膜开刀手术时，眼科医生可将遥控微型机器人放入眼球。在眼球运动的条件下进行难度很大的手术，使医生真正做到得心应手，游刃有余。当然，医生也可以用微型机器为肾脏病人切除拳头大小的肾，而病人体表的刀口只有手指甲那么大。原来，医生先将一只小口袋从小刀口放入病人的腹腔，然后借助微剪刀把肾切成碎片，装进小口袋里，并用微型搅拌机将碎肾片捣烂，这样，不就可以从小刀口中将装肾的小口袋取出来了么？

除了医学领域，微型机器也可以用于航天、航海、农业等各行各业。例如，可以把成千上万台微型地震仪分布到地球各处，测量地球的地质构造；可以把微型机器人扔到船下，“吃”掉船底的贝类和苔藓，从而提高航速。可以把大量的微型机器人撒入农田，为农民消灭害虫……

微型机器真可谓是机器家庭中的“小弟弟”，但是，这位新成员却大有“青出于蓝而胜于蓝”的气概，它正在大步跨进各行各业。

当然，制造微型机器也并非轻易之举，除了必须具备的高超的技术之外，还必须保持相当洁净的环境，即使是一粒灰尘、一根头发，一旦落到微型机器中，就犹如火车轨道上的大石头，微型机器当然就不能正常运行了。此外，一些轻微的风吹草动，也会使微型机器的零件东分西散。

几个世纪以来，人类依靠自己的勤劳和智慧创造发明了各式各样的机器，如果把它们排列在一起真是琳琅满目、丰富多彩啊！既有闻名于世的蒸汽机，内燃机，也有崭露头角的微型机器，正是它们使人类的生活更加完美，更加便捷。机器的家族伴随着人类从昨天走到了今天，它还将伴随着人类走向明天，开辟新的世界。

