

张开逊 著

回望

人类发明之路



发明是思想世界的新物种，
它们缔造了人类拥有的文明世界。

北京出版社出版集团
出版社

No. 81
1

回望

人类发明之路

张开逊 著



北京出版
社出版集团
出版社

图书在版编目(CIP)数据

回望人类发明之路 / 张开逊著. —北京: 北京出版社,
2007.5

ISBN 978 - 7 - 200 - 06818 - 4

I. 回… II. 张… III. 科学技术—创造发明—世界—普
及读物 IV. N19 - 49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 049627 号

回望人类发明之路

HUIWANG RENLEI FAMING ZHI LU

张开逊 著

*

北京出版社出版集团 出版
北京出版社

(北京北三环中路6号)

邮政编码:100011

网 址: [www . bph . com . cn](http://www.bph.com.cn)

北京出版社出版集团总发行

新华书店经销

三河市华新科达彩色印刷有限公司印刷

*

787 × 1092 16 开本 14 印张

2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月第 1 次印刷

印数 1—20 000

ISBN 978 - 7 - 200 - 06818 - 4/G · 3405

定价:35.00 元

质量投诉电话: 010 - 58572393

探究人类的创造智慧

人类从苍凉的远古走来，用发明缔造了一个由想象化为真实的世界，使我们居住的星球发生了有别于自然的变化，为宇宙赋予意义。

爱因斯坦（1879—1955）曾感慨：世间最不可思议的是，人类作为宇宙的产物，居然能够理解宇宙。

人类作为自然的一部分，居然能够创造出一个有别于自然的世界。在地球生命演化的历程中，人类选择了不同于其他物种的生存方式。动物通过进化适应自然，唯有以发明改变自然，不断创造新的生存环境。这是其他生灵无法复制的秘密，是人类繁荣昌盛的真正原因。

人类发明活动是一个漫长的历史过程。历史学家按照人类技术发明的特征划分时代，是因为技术发明决定历史长河奔流的方向。

史前时期，人类发明活动与人类进化过程交织在一起，在艰难摸索中创造生存技术，奠定了人类生存繁衍的

基础；农业出现之后，人类开始走出饥饿困境，不断创造满足社会需求的新事物。数千年间，能工巧匠的发明，为人类搭建了巨大的历史舞台，将古代社会人类智慧演绎到极致。

人类先有“术”而后有“学”；有真学而后有大术。

近代科学诞生之后，人类不断揭示深藏宇宙的奥秘，运用新的科学发现创造超越经验与常识的新技术，这些发明以前所未有的力量震撼世界，迅速改变着人类的传统生活模式。

近代科学出现之前，发明是经验催生的灵感，经验有限，灵感难求，重大发明很不容易出现。人类走出石器时代，经历了250万年；从发明文字到发明印刷机，经历了5000年。

在现代社会，发明已经成为科学产生的智慧。科学增加了人类做新事情的能力，一次次重大的科学发现，不断将人类发明推上新的高峰。科学的进步加速了技术的发展，在20世纪，从发射地球卫星到人类登上月球，仅仅相隔12年；从发明原子弹到发明氢弹，只用了7年时间。

今天，人类生活在科学与发明联姻的时代，发明家和科学家之间，界限越来越模糊，许多时候他们就是同一个人，既探究自然奥秘又善于运用科学智慧创造新技术。

发明家是技术的开路先锋，不断以新的方式满足和激发人类新的需求。在几乎没有人认为需要飞行的时候，他们执著地发明飞机。飞行曾被人们嘲讽为“冒险的死亡游戏”。发明家心甘情愿忍受穷困的折磨，直面死亡的威胁，他们以坚韧的毅力和令人折服的智慧，在飞机发明不

足百年的时间里，最终让人类感受到“世界怎能没有飞机呢？”发明使世界充满生机，飘荡诗意。

发明家是生活在现实世界的理想主义者，他们在人类面临的技术困境中，努力寻找解决问题的途径，没有成功的经验借鉴，不容易得到社会的理解和支持，几乎所有发明家都曾在逆境中奋斗。

最早发明蒸汽动力船的美国人菲奇（1743—1793），在美国得不到支持，远涉重洋到法国巴黎寻找机会，遭受冷遇、衣食无着，只得到一艘帆船上打工重渡大西洋返回家乡。不久，他在贫病中死去。女儿为他立了一块小小的墓碑，没有称他是发明家，只写着“一位参加过独立战争的老兵”。今天，数以万计的巨轮在大洋上穿梭，已经没有人记得菲奇。

世界需要发明，社会心态守旧，人们往往不信任发明家的构想。发明是思想世界的婴儿，躺在不舒服的摇篮里艰难地成长；迎接他们的常常不是亲切的笑脸，而是冷漠与讥笑。人类以这种特殊的方式培育和选择发明，使发明家走上一条光荣的荆棘路。在这条道路上，有很多先驱者失败，然而他们的失败造就了人类的成功。波澜壮阔的人类故事，包含着数不清的发明家的哀婉与悲壮。

古往今来的智者，都怀有对人类的大爱。这种无比深厚的情意，在无言中影响着人类创造力的走向；崇高的人类情感，使人类发明活动生生不息。

在人类发明的道路上，常常见到哲学的身影。当人类面临艰难抉择的时候，哲学一直为人类探索与创造提供聪明的建议。

公元前6世纪，古希腊哲学家最早将宇宙从神话中分离出来，揭开人类理性探索自然的序幕；当人类探究自然的活动长期在“直觉”与“经验”中徘徊，自然科学止步不前的时候，哲学家提出“实验是自然科学的基础”，17世纪的科学家们将这种哲学观念变为可以操作的科学方法，建立了近代科学传统。人们遵循这一朴素而伟大的传统，不断获得新的科学发现，创造前所未有的新技术，人类因此快步进入现代社会。

哲学引导科学，科学产生技术，技术改变世界。

现代技术发明为人类的多种愿望提供了实现的可能性，为人类带来了巨大幸福，并为崇高的人文情怀赋予新的含义；然而人类亦可能被荒唐的欲望驱使，滥用它们，跌入深渊。

人类是唯一可以决定自己未来的物种。思考发明与人类未来的关系，重新审视人类创造活动的终极价值，探究驾驭人类创造力的智慧，已经成为我们这个时代的使命。

回望人类发明之路，可以使我们从人类智慧中受到启迪，从人类精神中受到鼓舞，感悟人类的艰辛，引发无尽的联想。人们不知道明天将发明什么，也无法预测它们将对人类未来产生何种影响。在浩瀚的宇宙中，人类的发明活动刚刚开始。

张开逊

2007.6.6 于北京

目录

回望人类发明之路



一 序幕拉开1

当我们的祖先不再用双手移动身体,开始制造和使用工具的时候,人类的发明活动就开始了。

二 人类开始写字13

有了文字,人们可以“看见”思想,记录语言。人类从此实现了跨越时空的交流。

三 金属代替石器26

借助火的力量,古埃及人在6000年前把美丽的孔雀石变成了铜。从此,人类开始以新的方式,用新的材料,制造工具和武器。

四 爱琴海的曙光37

人类步入青铜时代3000年后,地处爱琴海海域的古希腊出现了一件了不起的大事:人们开始把宇宙从神话世界中分离出来,给予自然界以纯粹理性的解释。

五 中国古代发明49

古代中国以基础性发明贡献于人类。如果缺少它们,世界也许是另一番景象。

六 从中世纪到文艺复兴70

由于完全不同的原因,源于古希腊、中国、印度的智慧逐渐汇集在阿拉伯世界,后来辗转到达欧洲,经过千年酝酿,导致欧洲思想史发生巨变,这种变化最终影响到人类活动的一切方面。



回望人类发明之路

发明是思想世界的新物种，
它们缔造了人类拥有的文明世界。

0021

七 近代科学诞生89

欧洲文艺复兴孕育了自由、理性的探索精神，人们开始摆脱宗教的枷锁，以新的方式追寻宇宙的奥秘。科学的进步，使人们能够依据新发现的科学原理创造前所未有的新技术。人类的发明活动开始摆脱对经验的依赖，建立在科学发现基础之上。

八 机器登上历史舞台 109

在18世纪的欧洲，人们造出一种奇特的机器，能够把燃烧的煤变成强大的动力。由于这项发明，人类开始步入工业社会。

九 电气时代来临128

19世纪，科学家发现了电和磁的联系，开辟了驾驭能量、传输信息的新途径。人类刚刚步入工业社会，又匆匆奔向一个新的时代。

十 驾驭电子150

即将告别19世纪的时候，科学家发现了物质世界最小的微粒——电子。发明家开始探索运用电子的途径，大约经过100年努力，人类开始步入信息时代。

十一 释放核能 174

20世纪40年代，人们开始向原子核索取能量。这项发明有可能让人类在未来获得永不枯竭的能源，与此同时，世界亦蒙上了核战争的阴影。

十二 飞翔之梦193

人类向往飞翔，飞向星光闪烁的地方。

一 序幕拉开

.....

当我们的祖先不再用双手移动身体，开始制造和使用工具的时候，人类的发明活动就开始了。

有实物证据的最早的人类发明，是在250万年前的地层中找到的石器。1976年，人类学家哈里斯，在非洲埃塞俄比亚格诺河附近首先发现它们，后来经过三年大规模发掘，人们在那里找到了数千件石头打制的工具。其中大部分用卵石敲击而成，用于砍砸或刮擦，还有用碎石片做成的切割器。

动物把自己的器官
变成工具，人类则为自己
发明所需要的工具。'

1959年，人类学家利基（1903-1972）夫妇，在非洲坦桑尼亚奥杜威峡谷150万年前的地层中，找到了类似的石制工具，同时还发现了古人类遗骸。距这些石器发掘点几千米之外，他们还找到了制作这些工具的采石场。后来，考古学家在非洲肯尼亚图尔卡纳湖地区200万年前的地层中，发掘出2683块被加工过的石头碎片，这些石头碎片都是由火山凝灰岩打制成的。在这个地层中，人们还找到了大量古人类骨骼化石。

在这三处相距100万年的地层中，人们找到的石器差别不大，制作都很简单。

人类利用坚硬的石头可以做许多事情。碎裂的石块有锋利的刃口和尖头，可以用来猎杀动物，切割猎物的皮肉；石器可以使许多物体改变形状，能够把树木枝干和动物骨骼加工成需要的工具和武器。精心打造的石器，能够满足人类多方面的需求。

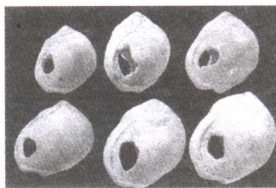
在遥远的古代，地球上不同地区的先民，不约而同把石器作为最早的工具。

如果说石器为农业文明奠定了基础，火则为人类后来的工业文明埋下了伏笔。

石器的出现，意味着人类开始了不同于其他物种的演进历程：动物把自己的器官变成工具，而人类则为自己发明所需要的工具；动物通过进化适应自然，而人类则依靠创造改变自然。可以想象，如果人类一直生活在没有石头的地方，今天的世界也许是另外的样子。

大约距今50万年前，人类发明了用火的技术。在距北京西南40千米的周口店北京猿人居住过的洞穴遗址中，考古学家发现了人类最早用火的证据，找到了当时燃烧过的灰烬，还有许多烧焦的动物骨头，其中有大量的鹿和野猪的骨头。

发明用火，使人类获得了新的生存优势。用火取暖，使人类能够在寒冷的高纬度地带生活，扩大了人类的生存空间；食物经过烧烤，不仅美味可口，还可以杀灭许多致命的细菌和病毒。火可以帮助人类避免野兽的伤害，因为几乎所有的猛兽都怕火。火焰的光芒照亮幽



▲在南非布隆波斯山洞发现的穿孔贝珠，距今7.7万年（存开普敦南非博物馆）

暗的洞穴，可使不见天日的洞穴成为古人类理想的栖息地。在世界上许多地方的岩洞中，考古学家发现了大量古人类活动遗存。

大自然中经常出现各种各样的火。雷电可能引发森林大火；干热的季节，堆积的枯枝烂叶会自燃引发草原大火；火山爆发，流淌的熔岩会造成一片火海。这些无法预测和控制的大火，是一切生物的灾难。不同于其他物种，人类使火这种引发灾难的自然现象为自己造福，发明了产生火源、控制燃烧和保存火种的技术。这是人类继发明石器之后的又一次飞跃。

火能够改变许多物质的物理和化学性质，帮助人类获得自然界中不曾有过的材料。如果说石器为农业文明奠定了基础，火则为人类后来的工业文明埋下了伏笔。

人类在漫长的演进岁月里发明了语言，语言的发明使人类能够分享经验，协同活动，构成社会。

语言是非常复杂的发明，人类通过呼吸系统、声带和口腔（包括舌头和牙齿）器官巧妙配合，可以发



▲在非洲东部奥杜威峡谷发现的石器，由火山凝灰岩打制而成，距今200万年（存大英博物馆）

出不同的声音。这些不同的独立声音单元，以特定的时间顺序排列，便组合成表达思想的信息；如果同时控制音量和音调的变化，信息内容就会更加丰富。这种因声带振动产生的信息，通过空气传播引起其他人鼓膜同步振动，产生听觉信号；这种信号通过神经传输到大脑，大脑加以综合分析，再现原有的信息含义，使听者知道对方在说什么。人类依靠发声器官、听觉和大脑的默契，实现了相互之间的思想交流。

语言的发明使人类能够分享经验，协同活动，构成社会。

语言的发明经历了极为漫长的过程，几乎没有留下任何可以追寻的踪迹。今天的人们只能根据古代人类活动特征的变化，推测语言发明过程中的某些环节，然而人们尚不知人类发明语言的确切时间。

大约距今20万年前，古人类出现了一个新的分支，他们的身体特征已经和现代人差别不大，人类学家称之为智人，在生物分类学中，智人和今天的人类属于同一个种。古人类学家发现，大约距今8万年前，智人头骨的结构发生了有利于产生语言的显著变化，一些学者推断，比较复杂的语言可能在这一时期出现。

智人制造石器的技术有了很大进步，用以制造工具和武器的材料越来越多样，加工

▼ 法国南部查维特洞穴中发现的壁画，距今3.5万年



越来越精细，他们在制造实用器物的同时，逐渐开始了具有文化色彩的创造活动。

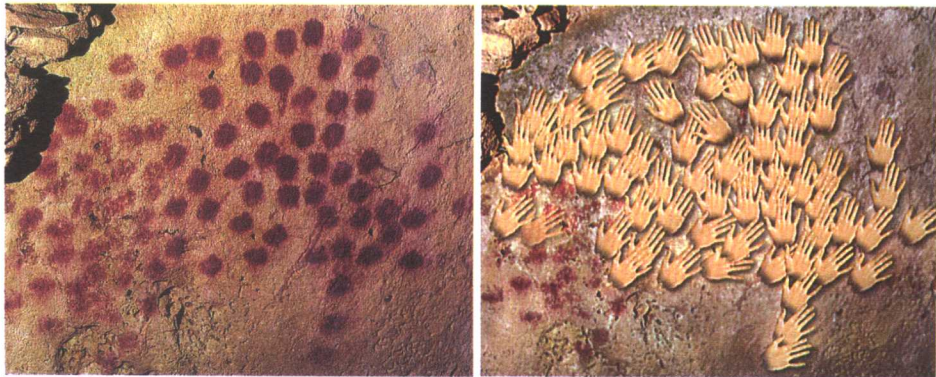
2004年，考古学家在美国《科学》杂志上发表文章，报告他们在南非布隆波斯山洞里发现了距今7.7万年前精心磨制的几个穿孔贝珠。人们不知道它们是项链还是计数筹码，不过可以肯定不是实用器物。这一发现表明，当时古人类的文化心理已经与今人有一些共同之处。发现穿孔贝珠的这个岩洞，在俯视印度洋的悬岩上，离海面35米高，从距今7万年前开始，一直没有被扰动过。

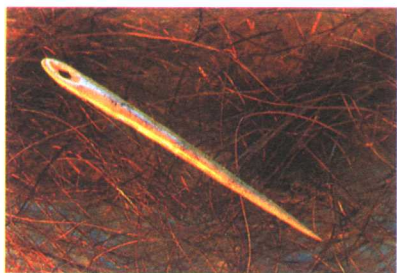
1994年12月18日，三位研究洞穴的科学家，在法国南部距巴黎500千米的阿尔代什地区维兰庞达镇附近的一个峡谷里，发现了一个大石灰岩溶洞，称查维特洞穴。挪开堆塞在洞口坍塌的石块，他们看到洞里打磨过的石壁上有许多精美的画，画中有狮子、熊、豹、猛犸象、野猪、犀牛、鹿、野牛、马和猫头鹰，共420头动物，有的奔跑，有的回头张望，个个栩栩如生。这些动物大部分是用木炭画的，小部分是用手蘸着黄赭石和赤铁矿颜料涂抹的，还有一部分是先用木炭勾画线条，再用更加坚硬的石块浅刻出来的。因洞内温度常年保持在15摄氏度，相对湿度为99%，几乎没有空气对流，所以炭粉和矿石颜料没有被氧化，大部分未脱落，所有的画都保存得非常好。法国和英国有三个研究机构用放射性碳14技术测定洞穴中用木炭颜料画成的两只犀牛和一只野牛，确定这是3.5万年前的作品。

这个洞中有一幅画，是作画者用手蘸赭石颜料在石壁上拍出来的。今人用计算机模拟，推断作画者的身高大约1.8米左右。在不见天日的洞穴里完成这样巨幅的壁画，可以推断，当时人类已经发明了稳定而持久的照明技术。

这些史前时期的绘画令今天的艺术家叹为观止，作画的技巧和神秘的立意，表明当

▼左图是在查维特洞穴的崖壁上，古代人用手掌蘸红褐色颜料拍出一幅动物图像
右图是科学家用计算机模拟，推断当时作画人的手印





◀ 在乌克兰发现的一枚骨针，距今2.8万年（存基辅乌克兰科学院）

时人类的智慧已经达到相当的高度。

德国考古学家在邻近多瑙河的霍伦斯坦峡谷的一处洞穴中，发现了一批距今3.2万年前的骨制艺术品。其中有一件高约30厘米的直立人形狮面雕像，它可能寓意某种人类活动中的权威崇拜。还有一支骨笛，上面钻有三个吹奏时改变音调的圆孔，它表明3万年前人类已经能够制造乐器，发出自然界中不曾有过的声音。还有一些象牙雕刻的马和大型哺乳动物的造型，表明人类这时不仅能够在平面上根据自己的印象画出外部世界的情景，还能够使用比例和模拟的概念，创造出仿真的立体艺术品。

乌克兰考古学家发现了2.8万年前用象牙磨制的针。这种针的造型和今天的钢针几乎没有什么区别，细长、尖锐、表面光滑，针孔位置非常合适。学者们推断其用途大概是用来缝合兽皮抵御风寒。

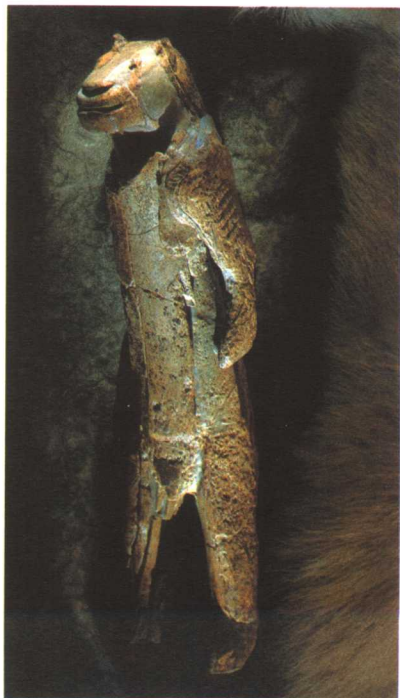
俄罗斯考古学家发掘了两座距今2.5万年的墓葬。其中一座墓里安葬着两位少女，她们穿着有饰物的衣服，身着斗篷、长裤，穿着直达膝盖的长靴，戴着帽子，6000枚成串的象牙珠子散落在身体上；在另一座墓中发掘出标枪、短剑、披风扣针，有10个空心花瓣的圆盘和雕刻的小马，还有穿在带子上的数百枚北极狐的牙齿。这表明2.5万年前人类已经开始厚葬死者，对故去的同伴表达哀思，而且有了相当强烈的聚敛财富的观念，并且希望把财富带到另一个世界。

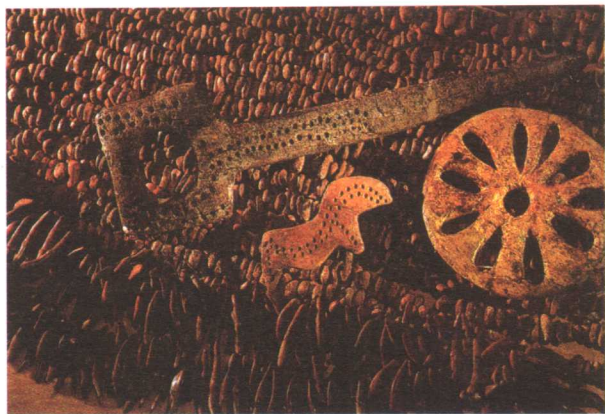
在俄罗斯和乌克兰，人们相继发现了许

陶器的发明，扩大了人类选择食物的范围，改变了人类的饮食习惯。

多处1.5万年前用猛犸象骨骼和象牙建造的房屋遗址，大量猛犸象

▼ 在邻近多瑙河的霍伦斯坦峡谷中，考古学家发现用猛犸象牙刻成的直立人形狮面雕像，出土时已碎为200多个小块，距今3.2万年（存德国乌尔姆博物馆）





▲在俄罗斯发现的一座墓葬，其中有用带子穿在一起的数百枚北极狐牙齿，距今2.5万年（存弗拉基米尔历史博物馆）

腿骨和下颌骨整齐有序地堆砌在遗址上。在遗址中，人们还发现了用象牙雕刻的饰物，其中有一件简直就像后来人类神话故事中的“幽灵”。

大约距今2万年到1万年之间，人类发明了陶器。陶器由黏土烧结而成，用于盛水和烹煮食物，它是人类发明的第一种改变了自然界物质特性的生活用品。在制作陶器的时候，首先使黏土与适量的水均匀混合，在半干的时候用手工做成需要的器皿形状，晾干焙烧。在450摄氏度~700摄氏度之间的高温环境下（在烧木材的窑中很容易达到这样的温度），微细的黏土颗粒改变了性质，相互烧结在一起，使成型的土坯变为不怕烧、不漏水，结实耐用的器物。

古代人利用陶器可以方便地从江河湖泊取水，贮存在加盖陶器中的水，可以保持清洁、减少蒸发。有了陶器，人类能够在离开水源的地方安家，选择更加适宜居住的环境。

陶器的出现，使人类加工食物的方式发生了重大变化，人们可以用水作为中间介质加热食物。水有良好的流动性和传热性，用火加热陶罐底部，食物可以通过水均匀加热，不会烧焦烤糊。水被加热沸腾之后，水温长久保持在沸点温度不再升高，沸腾的水成为理想的恒温器。在接近海平面的地方，水的沸点为100摄氏度（随着海拔高度的增加，沸点略微降低）。在沸腾的水中，食物能够发生一系列有益于人体健康的化学变化，对提高人类生存质量具有重要意义。许



▲水禽纹彩陶盘，其中的卍形符号直到今天仍然出现在人们社会生活中。盘高7厘米，口径27.6厘米，距今7000年，伊拉克萨马拉出土（存伊拉克国家博物馆）

陶器实现了火与水的美妙结合，催生了一系列后续的人类创造活动，并为金属工具和文字的发明铺垫了重要的基石。

多有毒不能生吃的食物（例如芋头和马铃薯），经过烹煮可以成为美味佳肴，坚硬粗糙难以入口的食物煮过之后变得容易消化；肉类和植物的蛋白质在烹煮过程中，会水解成大量人体不可或缺的氨基酸，对大脑的发育和进化至关重要。与此同时，高温煮食物杀灭了食物和水中的微生物，熟食代替生食，喝汤代替饮生水，减少了

人类患病的机会。

陶器的发明，扩大了人类选择食物的范围，改变了人类的饮食习惯。从此，人类普遍开始吃熟食，这种习惯一直延续到今天。

人们制作陶器，在保证其实用功能的同时，常常情不自禁赋予它审美的价值。无论器物造型抑或表面装饰，技术和艺术已经融为一体。许多史前时期的陶器，不但蕴含丰富的科学智慧，同时也是绝妙的艺术品。陶器的发明，为人类在精神领域的创造活动拓展了新的空间，使人类的造型艺术步入一个新的发展阶段。

考古学家把陶器视为史前时期人类活动水平的重要标志。他们通过分析不同时期陶器的特点，推测当时人们的生存方式和社会状况，并且根据陶器制作的工艺和图案，区别文化类型，细分历史阶段。世界上许多历史博物馆都收藏古代陶器，人们视其为凝固的历史。

陶器实现了火与水的美妙结合，是人类文明演进历程重要的里程碑。陶器的发明催生了一系列后续的人类创造活动，并为金属工具和文字的发明铺垫了重要的基石。

差不多与陶器出现的同时，人类开始驯养动物。早年人类祖先在狩猎的时候，总是把猎物全部杀死，连幼崽一起吃掉。后来，人们开始捕获那些弱小、温驯的动物幼崽喂养，结果发现能够与人类合作的动物种类非常少，直到今天，能被驯化的动物也不过几十种。

最早被驯化的是一些对人类没有威胁的食腐动物，它们在人类居住地附近觅食，在人类的垃圾堆里找食

► 花纹彩陶罐，这种近似球形的薄壁造型，可以用最少的材料获得尽可能大的容积，并且保持足够的强度，高10.1厘米，口径11.1厘米，距今6300年，伊拉克特鲁耶扎拉扎特出土（存伊拉克国家博物馆）



植物不会逃跑也不会攻击人类，吃植物比吃动物更方便。

物。如果猛兽入侵，它们会狂吠保卫自己的领地，客观上起到为人类报警的作用，它们渐渐地与人类构成一种相互依存的关系。其次被驯化的是一些合群的小型有蹄类动物，它们不拒绝与同类相处，也渐渐地与没有敌意的人类成了朋友。最后被驯化的是一些能够被役使的大型食草类哺乳动物，当人类意识到用它们替自己干活儿比吃掉它们更划算时，开始为农业和运输的需要驯化它们。

考古发掘的物证，使人们能够粗略地回溯人类驯养动物的历程。

距今大约1.4万年前，人们把狼的一支驯养成狗。从此孤独的人类有了第一个动物朋友。考古学家在今天的巴勒斯坦，发现了当时人与狗合葬的墓穴。

距今大约1.2万年前，在中东，人们开始驯养山羊。山羊与狗不一样，它们不同人争食物，而人类可以从它们身上获得肉、奶和皮毛。驯养山羊标志着人类开始以畜牧代替狩猎，从而有可能获得更加稳定的食物来源。

大约1万年前，在今天的土耳其，人们把野猪驯养成家猪。后来在地球上的许多地方开始驯养猪，这种不喜欢运动的杂食动物，至今一直是人类肉食品的重要来源。

大约9000年前，在西亚，人们开始驯养绵羊。绵羊的肉可以吃，它身上蓬松柔软的长毛，是人们求之不得的保暖材料。

大约8000年前，还是在西亚，人们开始驯养野牛。人类找到了可以帮助自己干活儿的动物伙伴，它们的力量比人大。

大约7000年前，在南美洲，人们开始驯养骆驼。这是在南美洲唯一被驯养的大型哺乳动物。

大约6000年前，在阿拉伯半岛，人们开始驯养野驴；在南亚，人们开始驯养水牛。这时，可以替人类干活儿的动物已经达到四种。

随后，生活在西亚的人们开始把野猫驯养成家猫，使家鼠有了天敌。在南亚，人们开始把原鸡驯养成鸡，从此人类不用爬树掏窝就可以吃到蛋。今天，这种不善飞翔的

► 网纹船形彩陶壶，其造型和图案表明当时人们已经驾船航行，用网捕鱼。高15.6厘米，宽24.8厘米，距今6500—5000年。陕西宝鸡北首岭出土（存中国国家博物馆）



► 8000年前的稻粒,湖南醴陵彭头山出土(存中国国家博物馆)



鸟类已经成为几乎所有人的盘中餐。

距今1万年左右,地球上最后一个冰期接近尾声,气候变得温暖,许多地方重新披上绿装。由于众多的植物物种出现在人类周围,人类逐渐学会选择和驯化那些可以食用的植物精心培育种植。植物不会逃跑,也不会攻击人类,吃植物比吃动物更方便。这一时期,在地球上许多不同的地方,先后分别出现了独立发展的农业,在大地上漂泊迁徙的人类,终于定居下来。

农业的发展经历了十分艰难的历程。植物在进化过程中,为了不被动物啃光吃尽,形成了各种抵制动物食用的特征,有的坚硬粗糙难以入口;有的含有毒素,会置动物于死地。在充满生机的绿色大地上,可供人类食用的植物并不多。经过执著的寻觅和十分困难的选择,地球上不同地区的人们相继找到了一些满足自身需求的植物物种。

考古学研究成果可使人们能大体了解古代人类早期选择植物、发展农业的脉络。人类最早栽培的作物是莴苣、菠菜和萝卜等生长周期不长的蔬菜。

距今1万年前,在中国南方,人们开始种植水稻;在今天的伊朗南部,人们开始种植豌豆。

距今9500年前,在南美洲,人们开始种植南瓜。

距今9000年前,在新几内亚,人们开始种植芋头。

距今8000年前,在秘鲁,人们开始在利马附近的奇尔卡山谷种植土豆。

距今7000年前,在中东,人们开始种植小麦。

与农业出现的同时,人类发明了渔网,用网捕鱼比狩猎容易,而且更安全。有了渔网,居住在江河湖海之滨的人们,能够获得更加丰富的动物蛋白来源。与发明其他的狩猎工具相比,发明渔网需要更加丰富的想象力,这项发明一直沿用至今。世界上最早的渔网,是在地中海沿岸发现的,是用耐水浸泡的细藤做的。

由于农业出现,在大地上漂泊迁徙的人类终于定居下来。

距今7000年前,人类发明了船。由于木制的船十分容易腐烂,因而世界上第一只船出自何方,由何人所造,已

轻轻拉动缰绳，人们可以自如地控制马奔跑的方向，这是人类以小搏大的控制技术。

无从考证。考古学家们找到的年代最久远的船，是一艘埋藏在北欧沼泽中的7000年前的独木舟。

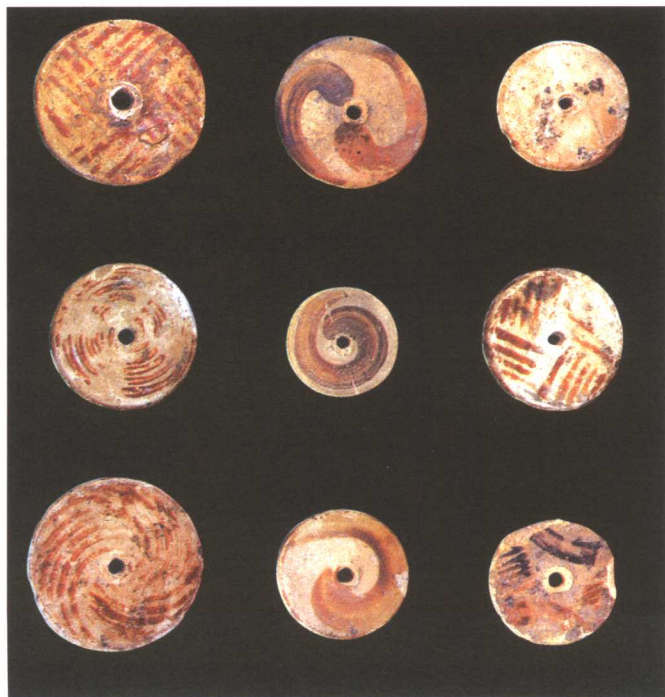
有了船，人类活动的疆域继续扩展，可以到更广阔的水面捕鱼，可以到达海洋中的岛屿，可以越过海面去另一片陆地，还可以乘船沿江顺流而下到陌生的地方定居。船的发明导致了人类更大规模的交流和交往。

差不多与此同时，人类发明了纺轮。纺轮是一种中间有孔的厚厚的圆片，有的用石片打磨而成，有的用陶土烧制。使用的时候，将一根小木棍穿过中间的圆孔并将其固定在纺轮上，再将纺轮悬吊起来快速自由旋转，其自身的重量和惯性便产生牵拉和快速扭转力量，使动植物纤维相互首尾绞接，连成长长的纱线，而纱线就缠绕在木棍上。利用纺轮制造纱线比用手捻搓快得多，牵拉扭转的力量更加均匀，用这种办法绞合的纱线亦比自然界中的纤维更结实。

利用纺轮，可以方便地制造纱线绳索、缝合兽皮、捆扎物件、编织衣物，从此杂散的羊毛和被当作废弃物的植物纤维，逐渐成为人类的生活必需品。纺轮也为日后纺织技术的发展奠定了最重要的基础。

人们今天穿的衣服，都是由纤维纺成的纺织出来的，

在汉语中，纺织的“纺”就来源于纺轮的基本动作。在几乎所有的历史教科书里，都把这种不起眼的小纺轮看



▲彩陶纺轮，直径2.6厘米~5.8厘米，厚0.5厘米~0.7厘米。湖北省京山县屈家岭出土，距今5000年。纺轮上绘有各种旋转的纹样，表明其功用，旋转时呈现出奇特的美（存湖北省博物馆）

► 新石器时代欧洲先民用燧石打造的多箭头和刀具，它们一般嵌在木棒上使用。法国南部及巴黎盆地出土（存法国国立人类学博物馆）

做人类文明进程中的一个里程碑。

大约6000年前，人类开始驯化马。马的性格温顺，力量大且善奔跑，可以弥补人类体能的不足。考古学家在乌克兰南部德雷夫卡遗址中发现距今6000年前的马牙，在显微镜下，可以清晰地看到马嘴中由于带嚼所引起的臼齿端面磨损的痕迹。这表明当时人们已经发明了驾驭马的方法：轻轻拉动缰绳，套在嘴里的马嚼会使马头自然偏转，人们可以自如地控制马奔跑的方向，这是人类以小搏大的一种成功的控制技术。

在漫长的岁月里，马一次又一次扮演着十分重要的角色，在军事、经济及文化活动中总有说不完的故事。在蒸汽机发明之前，马一直是人类赖以获得力量和速度的主要伙伴。有历史学家认为，由于美洲印第安人过度捕杀动物，以至于他们没有可以驯化的马，严重地阻碍了美洲文明的进程。



► 鹿角锄，鹿角具有足够的强度，造型适合锄土。长25厘米，属新石器时代，陕西长安县出土（存中国国家博物馆）



大约公元前5000年，人们开始挖掘沟渠引水浇灌农作物，干旱地区农作物收成从此有了比较可靠的保证。人类最早的灌溉沟渠出现在幼发拉底河、底格里斯河两河流域和尼罗河流域的某些平原地区。

差不多与此同时，在中国长江流域的一些地方，人们已经采用人工掘井的办法获取饮用水源。考古学家在浙江省宁波市余姚境内的河姆渡遗址中，发现了7000多年前的一口四壁以方木层层加护的水井，这种结构可以防止井壁坍塌，能从地



▲南美洲先民使用过的人头形彩陶瓶，顶部的三通空心导管既作提梁又作流管，这是他们独一无二的发明。它通高28.1厘米，宽16.2厘米，口径2.4厘米，距今2000年（存秘鲁国家考古学博物馆）

下很深的地方取水。从井口看下去，四壁的支护构架正好是汉字“井”的样子。有学者认为，汉语的“井”字，就是这样造出来的。

直到公元前4000年，人类所使用的主要工具仍然是石器，历史学家将人猿相揖别到金属工具出现之前这段极为漫长的岁月，称为“石器时代”。农业标志着石器时代人类的发明活动达到高潮，并且成为后世人类活动的基业。

农业出现，使人类生存方式发生了深刻的变化。种植可以提供比狩猎和采集更加可靠的食物保障，人类开始聚集在肥沃的土地上从事耕作，相互之间联系增多，交流和交往变得

频繁。由于有了富余的

食物和分工的细化，物品交换和贸易开始出现。出于共同利益的需求，人类活动的组织形态由家庭开始扩展为氏族、部落。随着农业的发展，早在狩猎、采集时期人类个体之间那种为争夺食物与栖息地的厮拼，亦逐渐演变为氏族、部落之间为争夺财富和土地而有组织、有计谋的战争。这些变化悄无声息地推进着人类的社会化进程。

农业使人类面临全新的课题，不仅需要更加复杂的工具，而且要求人们的劳作顺应自然规律。年复一年，春种秋收，在人类脑海中逐渐产生了大自然因果关系的概念，人们开始关注关于自然的知识。

石器时代奠定了人类文明的基础，但是由于石器本身的局限性，从总体上制约了人类活动的水平。石器时代低下的生产力不足以为更多的人提供生存条件，有历史学家估计，在公元前4000年，地球上人口总数约为600万，差不多是今天的千分之一。■

农业标志着石器时代人类的发明活动达到高潮，并且成为后世人类活动的基业。

二 人类开始写字

有了文字，人们可以“看见”思想，记录语言。人类从此实现了跨越时空的交流。

文字的历史进程缓慢而复杂，许多主要情节至今仍无从得知。

7万年以前，古代人类已经开始使用图案和标记传达信息。1993年，南非国家博物馆考古学家克里斯托弗·亨塞尔伍德发现了两块奇异的石头，上面保留着7.7万年前人类刻画的具有抽象意义的符号。在出土的这两块长约6厘米的赭石上，清晰可见一系列连续的“×”形状的交叉线条，其中一些图案还被一条水平线横贯。这是人类通过符号表达思想的最早证据。

人类祖先在亚欧大陆的许多洞穴中和岩壁上留下了大量色彩斑斓的绘画，画中除写实的动物外，还有大量的神秘符号，人们推测它们可能用以表达某种精神领域的活动。

古代北美印第安人在科罗拉多河河谷的岩壁上，也留下许多不可思议的符号。在柯林峡谷靠近河床的红色砂岩上，不仅能见到描



▲在南非布隆波斯山洞发现的刻有抽象意义线条的石块，考古学家认为它们是人类使用象征符号的证据，距今7.7万年（存开普敦南非博物馆）



▲美国科罗拉多河河谷红色砂岩壁上，古代印第安人留下的神秘图案

绘走兽飞鸟的岩画，还有许多极富动感的抽象图案。

距今1万年前，在近东地区，人们发明了更为复杂的标记。不久前，考古学家在伊朗发掘出许多那时的黏土圆球、半圆球、圆锥体和圆盘，上面刻有或压有点和线，据认为它们是用来计算动物和谷物数量的简单工具。

然而这些图案或标记都不能称做文字，真正的文字是指一套公认的符号，可以记录和表达人们的思想感情，描述周围的事物。

公元前3500年左右，定居在现今伊拉克南部美索不达米亚平原的苏美尔人，发明了世界上最早的象形文字。

真正的文字是指一套公认的符号，可以记录和表达人们的思想感情，描述周围的事物。

当时，苏美尔人生活在肥沃富庶的幼发拉底河、底格里斯河两河流域，他们用削尖的芦苇秆或小木棍在湿润的泥板上画出不同的符号，分别代表特定的意思。例如用两个错开45度交叉的十字表示“星星”；三角形中间画一横道表示“碗”；两条弯曲的线稍微错开一点表示“溪”；三个半圆

靠在一起表示“山”。这些泥板用火烤干或在阳光下晒干，可以长久地保留。考古学家称这种文字为楔形文字，因为刻画在泥板上的线条由粗到细，很像用木头砍成的楔子。

大约在公元前3000年，已经出现用楔形文字撰写的诗歌，当时有一首宗教诗，是祭奠牧神之死的哀歌。与此同时，在苏美尔象形文字中出现了抽象的概念，例如五角星代表“崇高”；单个八角星代表“神”；神被压在山下代表“阴谋”。

当楔形文字的词汇足够丰富时，人们便可以更加有效地传授知识，甚至制定法



▲在两河流域出土的一块苏美尔象形文字泥板，表示树、谷物、农具和手的图案清晰可见，距今5000年前（存巴黎卢浮宫）

典。大约公元前2000年，苏美尔人创办了世界上最早的学校，教材和作业都是用楔形文字写成的。20世纪40年代，考古学家伦纳德·伍利发现了苏美尔人在约公元前1700年时创办的一所学校的遗址，在当年的几个房间找到大约2000块刻有这种文字的泥板，上面刻有许多宗教经文和学生们所做的习题。有的泥板上还有这样的记载：学校专派“一位拿鞭子的人”监督学生用心读书。

公元前1792年，汉谟拉比（在位时间为前1792—前1750）征服美索不达米亚平原，建立巴比伦王国，他颁布法典并下令用楔形文字将其刻在石柱上。这是世界上最早的书面法典，亦是人类政治与社会生活中



▲ 苏美尔人的一件楔形文字泥板书借据，表明文字已经使“诚信”的理念以社会契约的方式表现出来，公元前2360年（存巴黎卢浮宫）

一件了不起的大事，它为社会规范了共同遵守的准则，清晰详尽地表述了人们应该遵循的细则共282则，那些条款涉及家庭、民事、刑事、商业等多方面，字体俊秀，至今尚存。

用楔形文字刻写在泥板上的书稿叫泥板书。在一些地方出土的这种泥板书，每块有1千克重，可依次放在架子上供人阅读。至今已发现的泥板书约75万块，除了重要的文献典籍，还包括商业文书、账簿和来往信件。

楔形文字产生之后，在中东和西亚地区广泛传播，成为表达这一地区许多种语言的符号，许多不同民族的语言都是用楔形文字记录的。公元前330年，亚历山大大帝灭亡波斯帝国，楔形文字最后消亡，从此楔形文字便无人知晓。直到1851年，英国罗林森等人才破译了楔形文字。

公元前3000年左右，古埃及人发明了自己的象形文字。这种文字最早被镌刻在石碑或建筑物上。

古埃及的象形文字有独特的符号体系，既表意又表

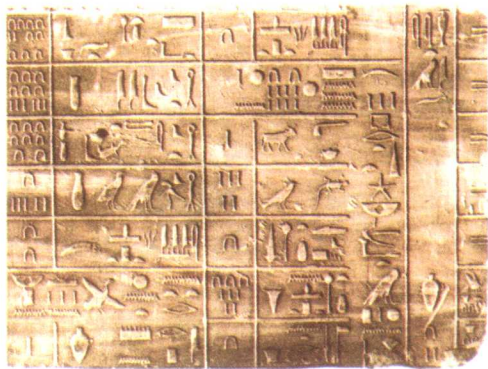
◀ 汉谟拉比法典石柱，公元前1790—前1750年（存巴黎卢浮宫）

音，形式多变。例如，用一个圆圈表示“太阳”；用两段弧线构成的新月轮廓代表“月亮”；用有角和大眼睛的牛头代表“牛”；两条腿表示“去”；两只眼睛表示“看”；眼睛下面画上水珠表示“哭”。

古埃及象形文字中有一些字和苏美尔的楔形文字相近，然而苏美尔人发明的楔形文字显得简朴而抽象，几何特征比较明显；古埃及象形文字则造型迷人，富于诗意，具有十足的绘画性。

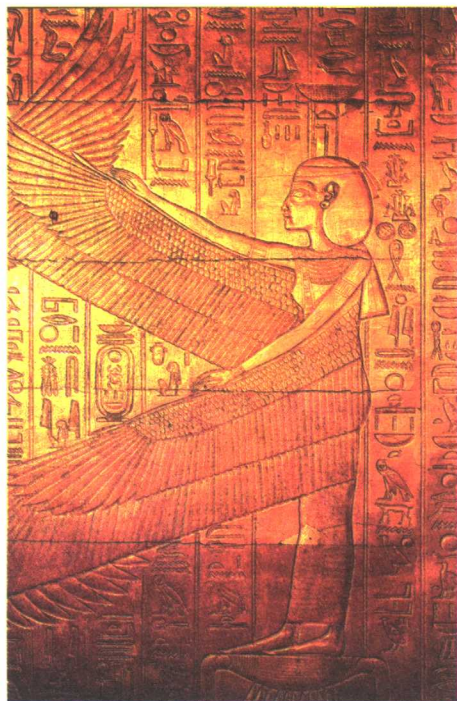
古埃及人发明莎草纸以后，掌管文书的僧侣们把象形文字略加简化，使它能够更方便地书写在莎草纸上。这种文字称为象形文字的书写体，又称祭司体或僧侣体，它们与镌刻在建筑物上的碑铭体共存了数百年。

公元前2880年，古埃及第二王朝时期的一位首相塔霍特普（他又是当时古埃及首都

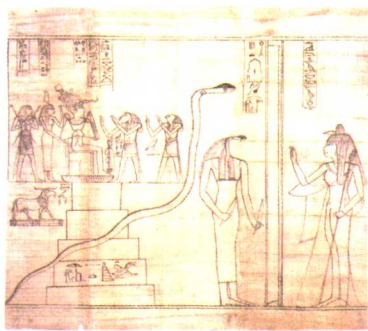
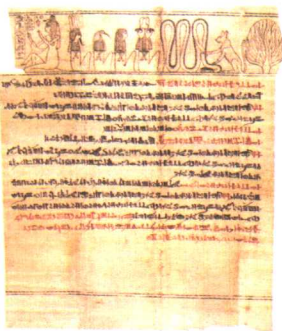


▲用古埃及象形文字碑铭体刻成的一部历书，公元前1450年（存巴黎卢浮宫）

孟菲斯的最高行政长官），退休后撰写了著名的教诲儿子的箴言，后来人们把全文转抄在莎草纸上，成为后世传诵的名篇。文中有这样的话：“……技术无止境，任何人都不能说我的功夫天下第一。存心仁厚，人必乐于与之交。不可放言高论，无论对谁，喋喋不休，均会令人生厌；做人应堂堂正正；世间最可贵者为德行而非珍宝。沉静寡言，胜于废话连篇。最愚蠢的人，才能无所不谈。能者，必虚怀若谷，必言语温顺。愤怒时不可发言。愤怒能伤人坏事，智者宜控制自己远离愤怒。”这是世界上第一部以文字记载的哲学著作。塔霍特



▲古埃及法老图坦卡蒙墓室壁画中的象形文字，公元前1322年



◀用古埃及象形文字比较潦草的祭司体书写在莎草纸上的“亡灵书”，公元前1025年（存大英博物馆）

普这位哲人生活的时代，比孔子（前551—前497）和苏格拉底（前470—前399）早2300多年。

古埃及人把做好的莎草纸依次粘连起来，用以书写长文，现在发现的最长的莎草纸文卷长36米。当时古埃及人用芦苇秆削成带小刷的笔，蘸油烟、矿物颜料和菜汁调成的墨水写字，历经5000年字迹仍然清晰可见。

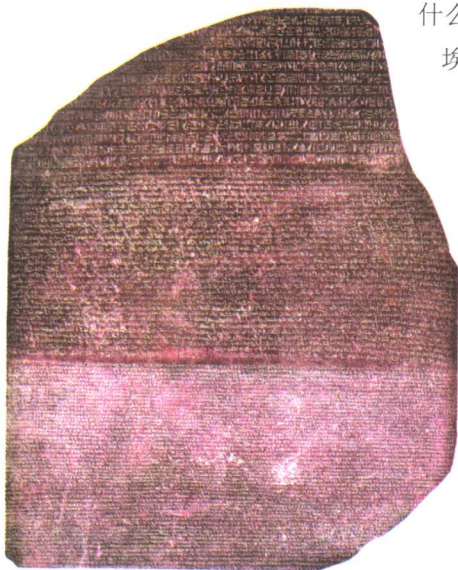
公元前675年，古埃及人为了更方便快捷地书写文件，进一步简化了象形符号，使它演变成一种斜体字，成为日常生活与交往和商务活动的文字，后来称其为俗体字。

从公元前3000年到罗马帝国统治埃及的最后时期公元390年，古埃及象形文字符号从700个左右增加到约5000个，基本特征没有什么变化。随着古

苏美尔人发明的楔形文字显得简朴而抽象，几何特征比较明显；古埃及象形文字则造型迷人，富于诗意，具有十足的绘画性。

埃及帝国的消亡，这种使用了3000多年的文字成了无法解读的谜。

1799年，拿破仑大军远征埃及。法国工兵在亚历山大城附近称做罗塞塔的地方挖战壕，当推倒一面墙时，发现了一块黑色石碑。碑高1.14米，宽0.73米，上面的铭文为三种不同文字，顶端一段是古埃及象形文字，中间一段像阿拉伯文草书，下面一段是希腊文。当时军中有懂希腊文的人，认出这是托勒密五世



◀罗塞塔石碑，公元前196年，埃及出土（存大英博物馆）

在公元前196年的一道诏令。人们马上想到这段希腊文可能是上面两段文字的译文，也许就是开启古埃及象形文字神秘迷宫的钥匙。

由于这块石碑是在称做罗塞塔的地方发现的，所以命名为罗塞塔石碑。

1822年，32岁的法国青年学者商博良（1790—1832）以这块石碑为线索，破译了困惑人们1500年之久的古埃及象形文字。他发现古埃及象形文字由三类符号组成，第一类是直接模仿物象的图式化符号；第二类是借用象形文字标注语音的符号；第三类是标明物象属性的符号。石碑上与希腊文对应的两段文字，分别是古埃及象形文字的碑铭体和大众体。

破译了象形文字，人们开始解读浩如烟海的古埃及文献，古埃及历史逐渐清晰地显现出来，从此，人们揭开了古埃及神秘的面纱。

真正的古埃及学是从商博良开始的，10年之后，商博良考察埃及后返回法国，不久英年早逝。发现罗塞塔石碑时，英法两国正进行争夺埃及宗主权的战争，法军于1801年战败，英军夺得这块石碑运回英国，今天罗塞塔石碑就竖在伦敦大英博物馆埃及厅的入口处。

大约公元前14世纪，文字发生了一次深刻的变化。生活在地中海东南岸的腓尼基人，创造了一种全新的文字，他们不再用图画般的符号表示事物，直接用22个形状各异

▼ 腓尼基文字泥板，公元前14世纪，叙利亚出土



人，创造了一种全新的文字，他们不再用图画般的符号表示事物，直接用22个形状各异简单符号表达思想。这种文字体系规定，每个符号有一种特定的发音，利用这种符号可以把语言忠实完整地记录下来。看见这种文字，不仅能了解它的意思，而且可以直接读出，就像说话一样。这是人类历史上最早的拼音文字。

▲ 浅浮雕《正在海上运送木材的腓尼基人》，伊拉克萨尔贡二世宫殿遗址出土，公元前8世纪（存巴黎卢浮宫）

在这种文字体系中，具有特定发音规则的符号称做字母，22个符号顺序排列成为字母表。它们好像是妈妈，可以生出许许多多字和词。腓尼基人创造自己的字母表时，可能采用了古埃及象形文字或楔形文字的一些符号。人们推测，由于商业活动的需要，使这个热衷贸易与航海的民族创造了拼音文字。

人类的发声系统，一般能发出30种~50种不同的声音，由腓尼基字母演变而来的字母体系，可以相当成功地表述许多种不同的语言。

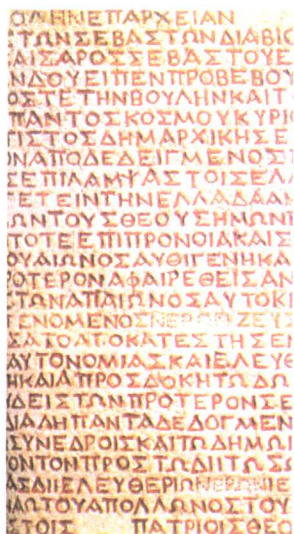
后来，腓尼基人的足迹遍及北非、南西班牙、西西里岛、塞浦路斯、希腊和意大利。这种简便新颖的文字亦随他们扩散到许多地方。很多地区不同程度地采用了腓尼基字母体系，其中希腊受到的影响最大。

公元前800年左右，希腊人在腓尼基字母中加进一些表示元音的符号，去掉一些希腊语中用不着的语音符号，建立了自己的文字体系。腓尼基人创造的22个字母都是辅音，一旦有了元音，与已有辅音结合在一起使用，就更加方便。希腊人还改变这种文字的书写方向，规定由字母组成的词和句都从左写到右，从左读到右。在书写的时候，握笔的手不会挡住刚刚写过的字。

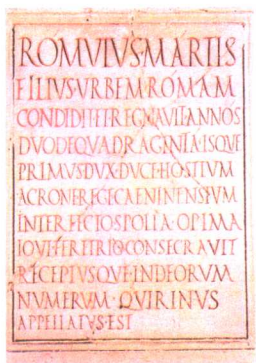
公元前7世纪左右，希腊字母被移居意大利的伊斯坎鲁特人采用，当时他们统治着罗马。公元前400年，居住在拉丁地区的人赶走伊斯坎鲁特人，成为罗马的主人，他们用希腊字母表述自己的语言，并把这种文字称为拉丁字母或罗马字母。当时强大的罗马帝国疆域辽阔，罗马字母成为欧洲许多地方多种不同语言的共同文字。

罗马人对字母书写风格的形成功不可没。原先所有的字母都大写，方方正正，棱角分明。好大喜功的罗马人特别喜欢在大理石上刻出长长的铭文，为方便镌刻，使字体更加美观，石匠把字母转折处的直角磨成圆角，还给字母加上衬线，在一些字母的顶上和底下加上波浪形的弯曲笔画，衬线还能使石匠更容易掩饰雕刻出现的错误，于是就出现了一种不同于大写字母的书写形式，用于非正式场合，最终演化成为手写体。与此同时，抄写书籍的人为了快捷方便，演化出一种比大写字母稍简单一些的字母形式，就是现在常用的小写字母。

许多民族都采用拉丁字母作为自己的文字，还有更深



◀ 希腊文碑刻，这是古罗马皇帝尼禄（37—68）一篇演说词的希腊文译本，公元1世纪（存罗马文明博物馆）



▲古罗马纪念碑铭文，公元前3世纪（存罗马文明博物馆）

刻的原因。人类由呼吸道、声带和口腔构成的发声系统，一般能发出30种~50种不同的声音，居住在不同地区的人们按照自己的习惯用它们组成语言。语言体系各不相同，但各个体系构成语言的基本声音单元大体相似，这种由腓尼基字母演变而来的字母体系，可以圆满地表述许多种不同的语言。今天26个拉丁字母已经成为法语、德语、西班牙语、意大利语、葡萄牙语和英语等共同的字母。

虽然拉丁字母用来表达英语已经很多年，但它并不是最理想的字母体系。英语有44种不同的发音，用26个字母表述常常捉襟见肘，有时不得不让一个字母有多种发音。例如字母e在pet（宠物）中是短音，在deer（鹿）中是长音，在blue（蓝色）中不发音。学习英语发音的困难常常与这种不尽完美的字母有关。

在腓尼基字母的基础上，产生了一种早期西南亚通用的古代文字阿拉姆文，后来演变成梵文、希伯来文和阿拉伯文。

公元9世纪时，拜占庭帝国的两位传教士西里尔和梅迪乌斯在希腊罗马字母的基础上创造了一种新字母体系，今天俄罗斯、波兰、塞尔维亚和其他许多斯拉夫文化圈的人们所使用的字母体系都源于此。这种字母体系不同于拉丁字母，书写形式与拉丁字母相近，但发音完全不同。例如俄文字母的数日比拉丁字母多，有33个，在拼读的时候每个字母都只有一种发音。为了适应俄语特有的发声习惯，字母中还有一个在拉丁语系中没有的卷舌音，发音的时候在嘴里打嘟噜。

今天世界上有多种多样的拼音文字，书写形式千变万化，读音规则各不相同，这些不同文字的差异比使用这些文字的人们肤色的差异还要大。如果一个英国人来到阿拉伯世界，或来到中国的西藏，他很少会想到自己民族的文字和当地的文字来自同一源头。

具有共同源头的拼音文字通称借源文字，表示都借用了别人的源头。

世界上还有另一种文字，它有自己独立的源头。这种文字历数千年而不衰，绵延至今，充满生机，这就是汉字。

真正意义上的汉字，大约出现在公元前1500年前后的黄河流域，人们主要用它记录占卜结果。当时，正值中国商代，占

如果一个英国人来到阿拉伯世界，或来到中国的西藏，他很少会想到他的民族的文字与当地的文字来自同一源头。



▲耶路撒冷岩顶清真寺墙壁上镶嵌的阿拉伯文字砖

► 商代刻有文字记载日食的牛骨，左面是原物，右面是字迹拓片，长约12厘米。河南安阳殷墟出土（存中国国家博物馆）

卜是人们预测未来的重要依据，例如来年天会不会干旱；天象出现异常意味着什么；该不该出兵打仗，何日发兵，胜负如何等等，这一切都需要请示神灵和先人。其中有一种占卜的方法是在龟甲或动物骨头上钻一些小孔，然后用火烫，使龟甲骨板受热开裂，人们根据龟甲或动物骨头裂纹延伸的走向和形状，对所关心的问题作出解释，至于如何解释由巫师说了算。为了日后验证占卜是否准确，记录占卜结果的文字，就刻在同一片龟甲或骨片上，这种文字称为甲骨文。



当时人们聚居的黄河中游地区，温暖湿润，溪流纵横，乌龟很多，乌龟行动迟缓很容易捕捉，它的光滑平坦的腹甲，正好是占卜和刻字的理想材料。进入农业社会以后，黄河流域大量饲养牛，人们将其屠宰吃肉后，剩下的骨头也用来占卜和刻字，牛肩胛骨呈平坦的扇形，厚度与龟甲相近，可以作为龟甲的替代品。龟甲和牛骨硬度适中，可以用金属工具刻出清晰的线条，便于保存，自然成为汉字最早的载体。

当时人们也把这种文字刻在石头、玉器或竹片上，但是，留传下来的很少。

随着金属冶炼技术的进步，人们对甲骨文的笔画和形状做了某些改动，把它们铸造或刻画在青铜器上。青铜器不容易氧化破损，可以长期保存，许多青铜器的体量比龟壳或牛肩胛骨大得多，一件器物上可以铸刻许多字，可以表达更加丰富的内容，一套有字的模具可以反复使用，浇铸成许多相同的青铜器具，上面的文字也一同被复制许多份。青铜器逐渐成了中国古文字的另一种载体。

最初，人们在某些青铜器上刻画代表家族标志的特定族徽符号，后来用它记事，例如简要地记述某次战争的缘由、过程和结果，记述某些重大的政治活动，还有的表达接受国君恩宠奖赏的激动心情，有的则记载某些寓意深刻的名言。在一些大型青铜器上，

铭文多达四五百字，即使按今天的标准，也是不短的文章。

世界上还有另一种文字，它有独立的源头。这种文字历数千年而不衰，绵延至今，充满生机，这就是汉字。

中国古代把青铜称为“金”，铸刻在青铜器上的文字称为金文。金文基本上也是一种象形文字。同甲骨文相比，金文出现了更多具有抽象含义的字。金文从商代开始一直使用到春秋战国末期。

甲骨文和金文是最古老的汉字，它们都用简约的图形或几种图形之间的相互关系造字，遵循一些共同的造字规则。这些字主要是以指事、象形、形声、会意四种方式造出来的。

第一是指事，用它造出一些具有抽象含义或表达空间关系的字。例如一横杠表示“一”；两横杠表示“二”；一道水平线上方加个符号表示“上”；下方加个符号表示“下”；刀字加一点表示“刃”；用蜜蜂的形状表示万的繁体字“萬”，上面的草字头像蜜蜂的触角，中间的田字像蜜蜂的头，下面的弯钩像蜜蜂的刺，蜜蜂群体数量巨大，就用它表示一个很大的量词“万”。

第二是象形，用简约的图画描绘某类事物的主要特征，以此作为表示该类事物的字。例如“羊”“马”“鱼”和“鸟”，就是这四类动物的漫画像。“水”字像水面的波纹；“目”字像一只睁开的眼睛；“木”字像一棵树。

第三是会意，利用两件象形事物间的相互关系表达某种含义。例如人靠在树干上表示休息，“休”字即由人与木合成；两个木字并在一起表示“林”；三个木字挤在一起表示“森”。

第四是形声。形声字由形和声两部分组成，代表字“形”的符号指出字的意义属于哪一类，代表字“声”的符号表示读音。例如“江”“河”“湖”“泊”“漫”“泻”，左边都有共同的偏旁三点水，表明它们都与水相关，右边部分发标明读音；“花”“草”“萌”“芽”“蓓”“蕾”都有共同的部首草字头，下边部分标明读音。甲骨文中形声字

▼ 天亡铜簋，铜簋内底有78字铭文，记叙周武王灭商后举行祭祀大典的盛况。西周早期，高24.2厘米（存中国国家博物馆）





▲秦代小篆体12字砖，砖文是：“海内皆臣，岁登成熟，道毋饥人”。长30.8厘米，宽26.71厘米（存中国国家博物馆）

不多，大约只占20%左右。

中国很早就有人注意研究和总结汉字结构的规律，东汉文字学家许慎，在其专著《说文解字》的叙文中，除谈到上述四种造字方法外，还解释了汉字结构的另外两种规律，就是“假借”和“转注”。

“假借”是借用一个已有的同音字表达新的意思。例如，“求”字原来的意思是毛皮，借用它表示“请求”的求；“自”字原来的意思是鼻子，借用它表示“自己”的“自”，“自然”的“自”；“我”字原意是一种古代兵器，借用它表示第一人称。这种兵器早已不复存在，表示“自己”的“我”反而成了使用频率最高的一类汉字。“假借”有助于减少汉字的数量，然而带来了同音异义的许多麻烦。

“转注”是一种为原来使用的文字增加表意偏旁造新字的方法。例如，在“川”的左边加上“马”，意味着使马儿像流水一样顺从人的意志，用来表示驯服的“驯”；“京”的本意是人工造的大土堆，左边加上“鱼”，表示巨大的“鱼”——“鲸”。利用转注法可以解决“象形”“指事”和“会意”字数少的困难，造出许多新字，满足语言发展的需求，而且可以避免“假借”造成同音异义字的问题。

甲骨文和金文是汉字最古老的形态，包含着汉字发明中许多朴素的核心智慧。

甲骨文形成于公元前1000多年的商代，消失在春秋战国末期，此后2000多年不为人知。关于近代学者发现甲骨文的过程，众说纷纭。有一种说法认为，19世纪末一件偶然的事情使人们重新发现了它。1899年，北京城国子监的官员王懿荣患疟疾，皇宫太医诊脉后开了药方，其中有一味药是“龙骨”。他的家人买药回来，打开包细看，无意中发现“龙骨”上刻着歪歪斜斜的不认识的字。这位官员精通金石铭文，对古文字有很深的造诣，便推断这可能是一种比金文更古老的文字，他立即把药铺里有字的“龙骨”全部买来，并追根寻源，到河南安阳买到了更多有字的“龙骨”。从此我



▶“鄂君启”错金铜舟节，这是楚王颁发给鄂君的水运通关凭证，使用楚国文字，战国时期（前475—前221），安徽寿县出土（存中国国家博物馆）

国开始对殷墟甲骨进行大规模的发掘和研究。

迄今人们已经发掘出刻有文字的甲骨约15万片，甲骨上的字数有的多达八九十个，少的只有几个；已发现的甲骨文单字总数有4672个，已识别的字1723个，无法辨识或未达共识的字2949个。人们在传世和历代出土的青铜器铭文中，发现金文单字总数3772个，可以识别的约2000个，还有1000多个字至今无法辨识。

金文出现的时间比甲骨文晚，按照文字发展的一般规律，它的字数应该比甲骨文更多。或许由于金文的创造者去除了甲骨文中一些很随意的字，删除了当时社会生活中不再使用的某些字，是文字简约规范的结果。今天人们能识别的金文比甲骨文字数多，或许是由于汉字在演化进程中，金文包含着更多的现代汉字要素。

中国春秋战国时期诸侯割据、小国林立，许多地方在金文、甲骨文的基础上自创了许多文字，交流非常不便。秦始皇统一中国后，颁布统一文字的命令，废除各诸侯国自创文字，统一采用原秦国官方使用的文字，而且由丞相李斯写成范本供模仿。这种字体后来称李斯小篆，成为中国统一使用的汉字原型。

至汉代，长期战乱终于平息，社会安定，经济繁荣，文献书籍撰写数量大增，蓬勃的商业活动更加刺激了民众对书写的需求，许多人开始采用秦代出现的另一种字体。与小篆相比，这种字体字形由长圆变为方扁，笔画横平竖直，省略了许多复杂结构，象形特征基本消失，便于用毛笔流利书写，由于多为下层官吏和民众使用，称为隶书。清秀工整的隶书得到普遍认同，从此汉字基本定型。

汉字是单音节字，每个字都有确定的字形、字义和字音。许多汉字本身即携带丰富的信息，有的是客观物象的形象缩影，有的内含深刻的哲学，有的浓缩了当时人们对宇宙万象的认识。例如“信”字，它由人和言构成，既表示人讲话是一种信息，又表示人要言而有信。繁体字“國”，

汉字源于象形文字，但它避免了楔形文字和古埃及象形文字灭亡的命运，以其独特的创造性成为博大精深的交流和思维的工具，成为源远流长的中华文化最核心、最精彩部分。



◀ 三国时期刻有一行隶书的青铜罐，字体已经与今天人们书写的汉字完全相同，公元222年（存湖北省鄂州博物馆）

是一个大大的方框包有“戈”字、“口”字和“一”字，可能表示国家有一个确定的区域疆界，而“戈”是兵器，代表军队，“口”表示人，下面一横道表示法律，它们都是构成国家的要素，可谓一篇精练至极的社会科学论文。繁体字“電”和“雷”相近，上半部是

文字使人类的思维更加精确，文明的传承更加有效。有了文字，才有真正意义上的教育和法典，才有了文学和科学。

“雨”字，表示它们都与雨天有关，唯一的区别是下面的田字出头与不出头，田字出头的“電”字表示打雷的时候出现火光，表明古代中国人是从闪电认识电的，这也可谓是一篇古老简约的自然科学论文。

随着时间推移，汉字总数不断增加，秦汉时期的小篆达到8700多字。清代编纂的《康熙字典》已收字47,035个，20世纪后期四川辞书出版社出版的《汉语大辞典》收字达54,000个。

汉字90%以上是形声字，从字形可以大体判断字的属性，知道它归属的范畴，其形象思维和逻辑思维巧妙地融合在一起，并具有相当的音韵特征，音形义兼而有之。

汉字通过字—词—句三重结构表达思想。单个汉字具有确定的含义；两个或两个以上汉字组成的词产生新的概念；众多的字和词按逻辑意义联系在一起，构成一个表达思想片段的句子；句子相互衔接表达完整的思想。

实际上，今天常用的汉字只有3000多个。从数学意义上讲，这3000多个常用字若两两搭配组成词，可以有1000万种以上的不同组合。按照汉语语法规则，1000万种不同的词，可以构成无限多种不同的句子。这种造词成句的奇妙智慧，避免了汉字字数的无限增长，用有限的汉字可以表达无尽的信息，从容表述人类在一切领域的进展，表达人类无比丰富的思想感情。然而从古到今，人们只使用了汉字极少的一部分功能。

源于象形的汉字，避免了楔形文字和古埃及象形文字灭亡的命运，以其独特的创造性成为博大精深的交流和思维的工具，成为源远流长的中华文化最核心、最精彩的一部分。

文字是人类具有里程碑意义的重大发明，人类的个体能够通过文字记录的信息，获得人类整体在漫长岁月里创造积累的知识、经验和智慧，加速了人类文明的进程。文字使人类的思维更加缜密，文明的传承更加有效。有了文字，才有真正意义上的教育和法典，才有了文学和科学，使人类有可能进行精神领域更高层次的探索活动；有了文字，人类可以记录自己的历史，故人们把文字发明之前的时代称做史前时期。

文字的发明是人类活动拉开序幕之后最为精彩的一幕。■

三 金属代替石器

.....

借助火的力量，古埃及人在6000年前把美丽的孔雀石变成了铜。从此，人类开始以新的方式，用新的材料，制造工具和武器。

人类使用石器长达250万年之久，始终面临一个无法解决的难题：石器的刃很快会钝，尖很快就秃，愈锋利的石器愈不耐用。这是由于古代人类使用的石器，绝大部分是用普通的岩石制造的，它们都是结晶体，硬而脆，韧性很差，受力的时候很容易从晶体界面断裂（泥沙就是岩石晶体在自然力作用下多次碎裂的产物）。在自然界中，只有两种岩石例外，一种是燧石，另一种是黑曜石。

燧石是埋藏在石灰岩中储量很少的一种变性晶体。海洋生物一旦死亡，其体内吸收的二氧化硅便重新析出，在漫长的地质年代里逐渐形成燧石，由于地壳抬升，它偶尔出现在陆地上。燧石致密坚硬，相互撞击不容易碎裂，可以迸出火花引燃干燥的植物纤维，被古代人用作打火石；燧石片还可以敲击出锋利的尖刃，做成耐用的匕首。

黑曜石是火山熔岩急剧冷却形成的非晶态物质，又称为火山玻璃，其化学成分与花岗岩相近。黑曜石可以打出比燧石更薄、更锋利的刃口，然而它比燧石更难找到，以至于人们把它当成宝石。

燧石和黑曜石都是稀有矿物，远远不能满足石器时代人类的需求。人类需要创造出一种自然界不曾有过的材料，用来制造更好的工具。

人类爱美的天性无意中催生了一项伟大的发明。大约公元前4000年，古埃及人在烧

工具前进一小步，人类前进一大步。

制涂有孔雀石釉料陶器的时候，意外地在炉子里得到一种副产品。这是一种与陶器完全不同的物体：颜色微红，在阳光下闪闪发亮，可以锤打成薄片，可以弯折，会在高温中熔化，而当其冷却之后，仍然具有原来的颜色和特性。这就是人类最早从矿石中冶炼出来的铜。

古埃及人对孔雀石情有独钟。孔雀石呈美丽的蓝绿色，硬度不高，可以用卵石将其研成细粉。人们喜欢用它涂眼影，作壁画，也常用它调成色彩艳丽浓重的釉，涂于待烧制的陶坯表面。今天，人们知道孔雀石是铜的一种结构复杂的碳酸盐，被称作碱式碳酸铜。在高温缺氧的环境中，孔雀石中的铜会被窑炉中炽热的炭或一氧化碳还原，元素状态的铜在超过熔点的高温下熔化流到炉底，经冷却凝聚成块状。若不断地向窑炉投放木炭和孔雀石，重复这种冶炼过程，铜就会源源不断地被制造出来。

制陶技术的发展，为铜的冶炼提供了重要的燃烧条件。当时古埃及人烧制陶器的水平很高，窑炉里的温度能够达到1100摄氏度，已经超过铜的熔点，只要原料合适，很容易得到铜。差不多与此同时，生活在美索不达米亚平原南部的苏美尔人，也掌握了这种炼铜技术。

在此之前很早的时候，人类已经发现了自然界中以元素状态存在的铜。考古学家在今天伊拉克叫做札威彻米的地方，曾经发现公元前1万年用自然铜做的装饰品；在伊朗西部阿里喀什，发现了公元前9000年的自然铜装饰品。由于自然铜非常罕见，人们将其视作神赐的宝物，除了欣赏之外，很少想到利用它。

当铜在冶炼炉中大量出现后，它便失去了神秘的色彩。人们开始理性地为它安排用途，充分利用它优于石头和木头的各种物理特性，做成人类需要的工具。考古学家在古埃及和美索不达米亚平原公元前4000年的墓葬中，相继发现了纯铜制作的斧、刀、锯、钉、鱼叉和镜子。

炼铜技术出现500年之后，人类发明了



▲ 古埃及人制作的燧石刀，配有象牙柄，公元前3600—前3280年（存大英博物馆）



▲ 南美洲玛雅人用大块黑曜石制作的形状诡异的砍割器

犁。在美索不达米亚平原南部的古代乌尔城遗址，考古学家发现公元前3500年的一块泥板上刻有犁的印记。考古学家推断，出现在古代图画中的犁，无法用石器加工出来，只有坚韧的金属工具，才能将粗大的木材加工成犁的形状。

犁的特殊结构，可以使牛的水平牵引力变成连续翻掘土地的力量。根据粗略估计，牛拉犁翻动土地的力量比人大10倍。犁的出现，标志着人类开始利用畜力从事农业生产，能够深翻土地，开垦更多的耕地，生产更多的粮食，使一部分人能够离开农田从事其他工作。这是农业生产力的第一次解放。

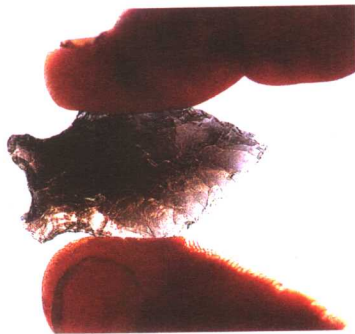
铜制工具催生了另一件伟大的发明——车轮。同样是在古代乌尔城遗址，考古学家发掘出一件大约公元前2600年的精美木盒，上面有一幅用贝壳和天青石镶嵌在天然沥青上的画。画中有51个人物，有国王、得胜的士兵、捆绑的俘虏，还有5辆野驴拉的四轮车。每辆车的轮子都是由锯成弧形的木板拼接而成的。人们

犁的出现，标志着人类开始利用畜力从事农业生产，是农业生产力的第一次解放。

推断，这种轮子只能用韧性良好的金属工具制造出来。

车轮使人类能够以一种新的方式改变物体的空间位置，获得更高的速度：车轮以滚动代替滑动，与直接拖拽相比，可以显著减小摩擦阻力。有了车，人们可以轻便快捷地搬运重物，实现远距离运输，对贸易、战争、农业和城市建设产生了极为重要的影响。如果不考虑动力和材质差别，今天的奔驰汽车和当年野驴拉的四轮车，其运动方式完全相同。

铜制工具还为人们带来了传播信息的文字载体。大约在公元前3300年，古埃及人使用锋利的小铜刀，把生长在尼罗河中的一种水草（称为莎草）加工成最早的书写材料。古埃及人剥去这种植物茎的外皮，将海绵状的白色草芯剖成长长的薄片，并一条一条地排列粘连得像一张方手帕，然后，把它旋转90度，叠压在另一张上面，使上下两张纤维互相垂直纵



▲北美古代印第安人用黑曜石打造的透明玻璃状箭头，美国加利福尼亚州出土



▲自然状态的孔雀石



▲ 古埃及人制造的铜镜，这是世界上最早的冶炼金属制品之一，公元前3500年，埃及出土。

横交错，晾干之后经过打磨就成了便于书写的草纸，人们习惯地称之为莎草纸。此前很早的时候，古埃及人曾把晒干的莎草捆扎起来做成筏，在尼罗河航行捕鱼，偶尔还到海上航行。

莎草纸是人类制造的最早的轻便书写材料，此后数千年间，无数珍贵的思想、智慧和重大事件记录在它上面。公元前3世纪，托勒密王朝在尼罗河口建立亚历山大图书馆，图书馆中70万卷文献即全部是用莎草纸写成的。

与此同时，古埃及人还用铜制造出最早的镜子。从前，人们只能借助平静的水面看见自己，有了轻巧的铜镜，人们可以随时看见自己的面容。在人类追求美的历程中，铜镜的发明具有里程碑意义。

车轮使人类能以一种新的方式改变物体的空间位置，获得更高的速度。如果不考虑动力和材质差别，今天的奔驰汽车和当年野驴拉的四轮车，其运动方式完全相同。

史书记载，古埃及法老曾派人到西奈半岛开采埋藏在地下的绿松石（绿松石是一种铜矿，又被当作宝石），聪明的古埃及矿工曾用多个磨光的铜镜连续反射阳光，使阳光通过曲折的路径到达地下采掘作业的地方，解决了在地下缺氧环境里的照明问题。今天，旅游者在埃及的卢克索国王谷参观古埃及法老陵墓，有时导游亦会用镜子把光线引

▼ 伊拉克乌尔城遗址出土的沥青贝壳镶嵌画，画中有5辆野驴拉的四轮车（存大英博物馆）



入墓穴，让游人在阳光下欣赏墓室中精美的壁画。

在尼罗河流域和美索不达米亚平原，考古学家在公元前4000年的墓葬中，发现了一种有趣的现象，随葬神像由男性神逐渐代替了女性神。这可能意味着随着金属工具的出现，采矿、冶炼和战争要求更强悍的体魄，母系社会逐渐变为男性占主导地位的社会。

纯铜虽然很有用，但是硬度不够，还不能完全代替石器。经过500年的摸索，铜器制造技术发生了一次飞跃，这次飞跃使人类告别了石器时代。

大约公元前3500年，生活在美索不达米亚平原南部的苏美尔人发现，在熔化的铜液中加入少量锡或铅，或在冶炼时一同加入少量锡和铅，可以大大改善铜的性能；加入锡或铅的铜，比纯铜硬度高，色泽亦更加光亮，做出的工具和武器更加锋利耐用，这种合金叫做青铜。在自然界中，铜和锡有时形成共生矿，当年苏美尔人炼铜的时候，有可能在无意之中夹杂了含锡的矿石，锡在冶炼时自然熔化在铜液中，从而使苏美尔人得到了青铜。

改变锡或铅的含量，会使青铜具有不同性能，有的硬度很高，有的韧性很好，有的表面特别光亮不易锈蚀。不同特性的青铜，可以满足人们多方面需求。青铜熔点比纯铜低，它的熔点随加入锡或铅的多少而变化。例如，加25%的锡，青铜的熔点能降低到810摄氏度，比纯铜熔点低200摄氏度以上。冶炼青铜需要的时间更短，更省燃料，冶炼炉的寿命也更长。

考古学家在公元前4000年左右的墓葬中，注意到一种有趣的现象，随葬神像由男性神逐渐代替了女性神。这可能意味着随着金属工具的出现，采矿、冶炼和战争要求更强悍的体魄，母系社会逐渐变为男性占主导地位的社会。



用青铜制作器物，可以采用一种特殊的方法——铸造。将熔化的青铜液注入预先做好的耐热不变形的模具，使铜液充满模具空腔，冷却之后就能得到与这个空腔形状完全一样的器物。这种模具可以用石头刻，也可以用黏土烧制。铸造技术极大地提高了人们制造金属器

◀ 尼罗河上的莎草

物的效率，可以大批量制造性能优良的工具和武器。从前，人们制造器物，必须去除原材料中多余的部分，而铸造则可以有效利用全部原材料。铸造技术是人类制造技术的重大变革，这项发明一直使用至今。



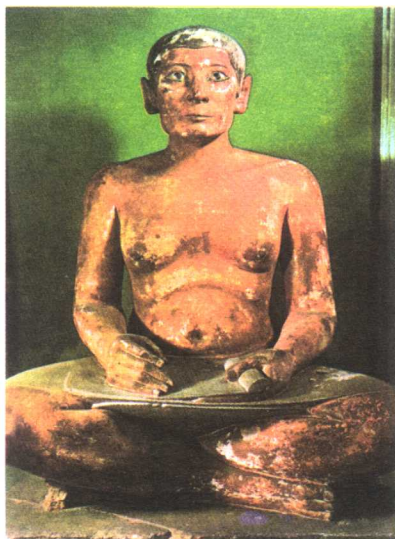
▲古埃及人用金属工具制作的有榫铆结构的木床架，它表明当时人们已经能够加工制造复杂精巧的生活器具，公元前2800年，埃及出土（存维也纳艺术史博物馆）

人类以石块木棍为武器的争斗，逐渐演变为用青铜刀剑和甲冑武装起来的军队之间的大规模厮杀。

工具改进一小步，人类前进一大步。

青铜器的制造进一步增强了人类制造工具和武器的能力，提高了人类活动水平。

考古学家在古代乌尔城遗址发现了大约公元前3000年的一批泥板文书，其中记载着当时苏美尔人一些常用物品的比价。这些比价使人们能够从另一侧面了解金属工具对社会生活产生的影响。譬如：“1头驴可以换1头牛，也可以换1个奴隶；3头驴可以换1条带舱的船，5头驴换1辆车。”依据商品的价格判断，1辆车的价值相当于5个人的劳动，使用1条船增加的收入相当于雇佣3个打鱼的奴隶。



车和船显著提高了劳动生产率，而制造车和车需要多种锋利的金属工具和复杂精巧的技艺，车和船并不太高的价格表明，当时苏美尔人已经相当普遍地使用金属工具，陆路交通和航行已经改观。车辆运输开始取代人力畜力，江河中航行的木船已经取代不耐风雨的草筏。

青铜的出现，导致了生产和运输工具的变革，进一步促进了城市的发展。公元前2750年，在美索不达米亚平原南部，矗立着900个塔楼的苏美尔乌鲁克大城墙建成，城墙总长9.5千米。至公元前2500年，中东地区已

▲古埃及书记官石灰岩雕像，书写在当时已成为一种严肃的职业，公元前2500年（存巴黎卢浮宫）

经出现22座城市。

冶炼青铜和制造青铜器的技术很快传到古埃及。公元前2700年，古埃及人已经采用9份纯铜1份锡的比例炼青铜，并从西奈半岛开采铜矿大量制造青铜器。青铜工具使古埃及人有能力建设前所未有的宏大工程。

大约从公元前2800年开始，古埃及人在尼罗河西岸相继修建了97座金字塔。其中开罗郊外吉萨高地上的胡夫法老金字塔，是古代世界七大建筑奇迹中至今仅存的一座，也是人们首次运用青铜工具建造的最宏伟的工程。在19世纪法国巴黎艾菲尔铁塔建成之前的4400年间，胡夫金字塔一直是地球上最高的人工建筑，它集中体现了古代人类利用青铜工具所达到的最高成就。

古埃及人从公元前2530年开始修建这座金字塔，动用了10万人，花费了30年时间。这座金字塔高146.5米；基座是正方形，边长230米；塔身呈正四棱锥体，每面斜度为51度50分，四个面正对着东南西北，在一年的大部分时间里，阳光都能够投射到金字塔的四个面上，在蓝天白云下，金字塔反射出耀眼的光芒，只在每年冬至前后短暂的几天，朝北的一面才出现阴影。

金字塔总重约700万吨，墓室中的一块巨石盖板重达50吨。金字塔主体由100万块花岗岩砌成，每块重2.5吨，取自距开罗930千米之外的阿斯旺山区，在尼罗河涨水的时候由船运来。在花岗岩砌成的主体结构上铺砌着洁白的石灰



▲ 化妆用品盒，在木盒上嵌象牙、蓝晶石和蓝色釉陶片，组成美丽的莎草花图案，寓意灵魂永生。它高19厘米，长37.5厘米，宽23厘米，公元前2570—前2450年，埃及出土（存意大利都灵埃及博物馆）

岩，每一块石灰岩经过精心打磨后互相紧贴安放，石缝间没有黏着物，拼缝紧密，连纸张也插不进。金字塔的四个斜面共铺有11万块磨光的石灰岩盖板，每块重10吨。公元1301年的一次大地震之后，人们把这些石灰岩盖板拆下用于重建开罗。现在看到的胡夫金字塔露出的层层花岗岩石阶，就像体育



▲ 古埃及人修建金字塔采石用的青铜工具

场的看台一样。原来覆盖在金字塔上的光洁巨石，采自距吉萨高地13千米的石灰岩山体。考古学家在昔日工地遗址，发掘出了当年开凿石灰岩用过的青铜工具。

胡夫金字塔建在高出尼罗河谷67米的高地上，当年的建造者利用青铜工具在起伏不平的山地为金字塔建造了理想的水平地基。人们先在圈定的地基范围内开凿出网状沟渠，从尼罗河取水灌入渠中，刻出水面在渠壁上的位置，以此为基准去掉上面的岩石，用碎石填平沟渠后堆砌石块，使金字塔的重心保持在地基中心的垂线上。4500年来，这座大金字塔巍然屹立在吉萨高地，成为人类想象力和创造精神的象征。

1954年5月，考古学家在胡夫金字塔南侧发现当年拆散随葬的一艘木船，木船已拆为650个部件，共1224块。船的部件上共有4000个洞眼，没有钉子，人们像缝衣服一样用棕绳将它们拼接复原。重新拼接之后的船，长43.4米，宽5.9米，船头高6米。人们推断这是胡夫法老生前曾经使用过的船，它表明青铜工具已经使当时古埃及的制造业达到很高的水平。

青铜工具不仅帮助人们完成了宏大的工程，也可以帮助医生完成某些复杂的外科手术。有一份公元前2700年的古埃及莎草纸文书，描述了包括铜针在内的外科手术器械，记述了头部、肩部和身体其他部位伤口缝合的步骤。公元前2500年，古埃及已经出现外科医生形象的艺术作品。考古学家在古埃及公元前2300年的一个外科医生的墓葬中，发现了随葬的青铜外科手术器械，共23件。

公元前2000年前后，在美索不达米亚平原，用青铜器械做眼科手术已经非常普遍。公元前18世纪古巴比伦王国汉谟拉比法典的石柱上，刻有这样一段话：“用铜制柳叶刀切开患者生病的地方，可以治愈失明这一疾病（一位现代外科医生认为其含义系‘白内障’）。如果医师用铜制柳叶刀为一位贵族施行手术，挽救了他的生命，或者用铜制柳叶刀切开一位贵族的眼窝，挽救了他的眼睛，他应当得到10枚银币；为平民治愈眼睛可以得到5枚银币；为奴隶治愈眼睛可以得到2枚银币。如果手术失败，医生应该砍去双手。”

► 在一座古埃及墓葬中出土的医生浅浮雕像，以及象形文字铭文“牙医和医务总监”，公元前2600年





▲ 在印度河流域出土的青铜兵器，公元前2500年

青铜兵器轻巧、锋利、耐用，可以通过铸造大批量生产，迅速地提升了士兵的作战能力。人类以石块、木棍为武器的争斗，逐渐演变为用青铜刀剑和甲冑武装起来的军队之间的大规模厮杀。战争变得更加惨烈，野心家凭借武力攫取权力与财富的活动变得越来越频繁。战

争和生产方式的变化，使许多地域氏族制社会结构迅速转变为国家形态，人类日渐远离田园牧歌式的生活。

历史学家把青铜器的出现作为一个新时代的标志，从公元前3500年到公元前1500年间，世界上许多地区相继进入青铜时代。然而当人们四处寻找铜矿和锡矿的时候，另一种远不如青铜光亮的金属悄悄进入人们的视野，这就是铁。

人们最早见到的铁是陨铁，是某些星体碎片陨落地球穿越大气层烧蚀残留的部分。当时人们把它叫做“天上的金属”。由于极为稀有，人们把它当做珍贵的收藏品。考古学家在古埃及一座公元前3000年的墓葬中，曾发现含镍7.5%的陨铁珠；在两河流域公元前2500年的乌尔王墓中，发现含镍10.9%的陨铁碎片；在公元前2000年古埃及十一王朝的墓葬中，发现含镍10.5%的陨铁制成的护身符。

大约公元前2000年，生活在今天土耳其安纳托里亚高原的赫梯人发明了炼铁技术，把氧化铁矿石变成铁。

赫梯人生活的地方铜矿不多，铁矿很多。他们采用古埃及人炼铜的方法，在向炉中投入铜矿石时，有时混杂一些铁矿石（有的地方铜和铁会形成共生矿），这时，矿石中的铁会被高温熔炉中的一氧化碳还原出来。有时，人们在盛产铁矿的地方修造炼铜炉，常常用坚硬的铁矿石砌炉壁，这些矿石中的铁也会被还原出来。当炉壁疏松的时候，被还原出来的铁块就会掉下来。由于冶炼炉的温度大约为1100摄氏度，低于铁的熔点1593摄氏度，一氧化碳还原出来的铁的形状，便基本上与原来的铁矿石一样，只不过百孔千疮，人们称之“海绵铁”，而研究科学史的学者把人类最早炼出的这种铁称为“块炼铁”。“块炼铁”很容易与铜区别，它不会与熔化的铜混在一起。



▲ 公元前1900年带鹿角手柄的铁镰刀，中东出土

赫梯人逐渐发现，这些黑灰色的块状物体有用，把它们重新加热反复锻打，排出其中的杂质（今天人们知道，这些杂质主要是二氧化硅和矿石中没有被完全还原的氧化铁），疏松的铁块即变得密实而有韧性，可以做成器皿、工具和武器。人们开始采用炼铜的办法炼铁矿石，世界上最早的炼铁技术便宣告诞生。

地壳中铁的含量比铜多1000倍，铁矿比铜矿多，炼铁的方法又十分简单，铁器便可以大量生产。铁器的出现，使率先使用者获得了军事上的优势。公元前1595年，手持铁制兵器的赫梯人远征两河流域，把巴比伦城洗劫一空，直接导致古巴比伦王国的灭亡。

铁器出现后，金属工具更加广泛地介入人类活动。考古学家在发掘地中海东部克里特岛上的米诺斯王国宫殿遗址时，发现一部历史文献，其中记载米诺斯王国的首都克诺索斯城，在公元前1550年已经有下列职业：医生、传令官、厨师、面包师、制陶工、制毡工、木工、造船工、泥瓦匠、武器制作工、铁匠、金匠、制弓匠、伐木匠、牧人、猎人、澡堂女工、磨面女工。在18种职业中，有9种与金属工具直接相关，这说明，金属已经与人类活动密不可分。

赫梯人发明炼铁技术后，铁器作为新的商品和战争武器，迅速流传到世界许多地方。炼铜技术的发源地古埃及也开始使用铁器。1924年，考古学家发掘古埃及十八王朝图坦卡蒙法老（前1348—前1337）的陵墓时，在随葬品中发现了一把铁匕首。

然而，这一时期的铁尚未完全代替青铜。因为用低温固体还原法炼出的是纯铁，不含碳，硬度不够，不及青铜锋利耐用。

公元前1200年，一项发明最终确立了铁在人类活动中的地位，生活在亚美尼亚和南高加索的力哈德人发明了增加铁器硬度的方法。他们把已经锻打成型的铁器重新投进炽热的炭炉，使炭和铁

公元前2000年赫梯人发明的炼铁技术，为3700年后的产业革命准备了最重要的材料基础；公元前4000年古埃及人炼出的红铜，则为6000年后的电气时代埋下伏笔。



► 手持金属兵器的赫梯士兵浮雕，公元前12世纪

伴随着铁器的诞生，人类开始大规模砍伐森林，炼铁需要大量木炭，锋利的铁器伐倒树木毫不困难。

器的表面直接接触，待烧到一定程度，与炭接触的铁器表面会变得非常硬，甚至比青铜还硬。

实际上，力哈德人当时已经发明了把铁炼成钢的方法。

当炽热的炭与铁器表面接触的时候，部分碳原子便在高温环境中渗入铁器内部，局部改变铁的组织结构。控制碳进入铁中的量，可以改变铁器硬度，就像控制锡的含量可以改变青铜的性能一样。后来人们还发现，将渗碳后的铁器加热至高温，再使它在水或油中急剧冷却，会变得更加锋利耐用。这种改变金属组织结构的办法今天称为“淬火”。

“渗碳”与“淬火”技术很容易掌握，人们不再需要寻找稀缺的锡和铅，便可赋予这种廉价材料美妙的特性，依照自己的愿望制造满足多种需求的器具，甚至一个家庭就可以完成从炼铁到制造铁器的全过程。铁器的出现，使金属冶炼和金属工具制造由国家垄断行为逐渐变成民间的职业。铁锅、铁勺和铁菜刀开始进入寻常百姓家；铁犁、铁铲和铁镐逐渐取代木石农具。廉价的铁制工具使各行各业工匠的数量急剧增加，加速了这些行业的技术更新。铁矛、铁剑和铁盔、铁甲武装了数量众多的兵士，军队亦进一步提高了战斗力。

铁以前所未有的规模进入生产领域、军事领域和人们的日常生活，全面更新了人类的工具、农具和兵器，使人类活动的方式发生了深刻变化。

从公元前4000年到公元前1200年的2800年间，人类经历了四次技术上的飞跃，终于找到了满意的金属材料。公元前2000年赫梯人发明的炼铁技术，为3700年后的产业革命准备了最重要的材料基础；公元前4000年古埃及人炼出的红铜，则为6000年后的电气时代埋下伏笔。不幸的是，伴随着铁器的诞生，人类开始大规模砍伐森林，因为炼铁需要大量木炭，锋利的铁器伐倒树木毫不困难。

历史学家估计，到公元前500年，世界人口总数达到1亿，在发明金属工具之后3500年间，世界人口增加了16倍。■

四 爱琴海的曙光

人类步入青铜时代3000年后，地处爱琴海海域的古希腊出现了一件了不起的大事：人们开始把宇宙从神话世界中分离出来，给予自然界以纯粹理性的解释。

古代人极其务实地从事技术发明，又无比浪漫地创造出各种神话。在人们脑海中，想象中的神支配着宇宙，神的意图和行为决定自然界的一切，美丽的神话阻断了探寻知识的道路。在漫长的岁月里，很少有人思索自然现象的本质，对自然界进行认真的研究。



公元前6世纪，在今天土耳其西部爱奥尼亚地域（当时属于古希腊版图），一批学者开始以全新的观念看待置身其中的世界。他们认为，整个宇宙是自然的，自然界的一切变化都有内在原因，自然现象可以通过理性探讨给予解释。他们第一次把神排除在宇宙之外。

首先提出这种看法的是古希腊第一位自然哲学家泰勒斯（前625—前547）。泰勒斯居住在米利都。

◀ 双耳陶樽，绘有排列的双轮马拉战车，表明爱琴海周围地区在古希腊文明出现之前已经有发达的生产力。公元前1350—前1325年，塞浦路斯出土（存大英博物馆）

米利都是古希腊当时最美、最大的城市，门德雷斯河从这里流入爱琴海。米利都是从海上进入西亚与北非的交通要冲，是繁华的商贸中心。多种知识和思想在这里交汇，它成为爱琴海海域当时最开放的地方。

泰勒斯早年到埃及游历，学习了古埃及和巴比伦的天文学、几何学知识，后来把这些知识引进希腊。他十分关注世间万物的本原问题，认为纷繁复杂的世界有一个统一的本原，与神毫不相干。

在埃及的时候，泰勒斯用一种极简单的办法测量出胡夫金字塔的高度，令当地人惊讶不已。在阳光下，他先量出金字塔投在地上影子的长度，再竖起一根木棍，量出棍子的影长。塔影的长度除以木棍影子的长度，再乘以木棍的长度，就得出金字塔的高度。

泰勒斯的智慧在于，他注意到太阳投射到地面的光线是平行的，巧妙地运用了相似三角形的边长比例关系。

从前人们把棍子当成打斗的武器，泰勒斯把它用作测量的工具。

从泰勒斯开始，人类的发明活动已经带有科学思辨的色彩。他根据古埃及土地测量的经验规则创立了演绎几何学，还确立了西方最早的数学定理：直径所对的圆周角是直角。这个定理告诉人们一种画直角最简单的方法，圆周上任意一点与直径两端的连线必然是直角。这个定理在建筑学上非常有用，人们可以方便地检测墙面和高大的立柱是否与地面垂直。

公元前585年，泰勒斯已经注意到摩擦过的琥珀（带电）能吸引细小的绒毛。这是西方世界关于电现象最早的观察记录。今天英语中“电（Electricity）”这个词在古希腊语中的意思就是“琥珀”。

泰勒斯还预言了公元前585年5月28日的日食现象，通过科学计算预言天象景观，对当时占星术无疑是一次沉重的打击。

泰勒斯是一位幽默的哲人。人们问他，最难的是什么？他说：“了解自己。”人们又问他，最容易的是什么？他说：“给别人建议。”

泰勒斯终生对世间事物充满兴趣，他在78岁高龄观赏竞技比赛时，因气候炎热渴死在看台上。

就在这个世纪，古希腊出现了一批杰出的数学家，他们以极大的热情研究从现实世界

公元前6世纪，一批学者开始以全新的观念看待置身其中的世界。他们第一次把神排除在宇宙之外。

► 公元前6世纪，希腊人在西西里岛建造的协和神殿





◀ 描绘古希腊人激烈辩论的油画，法国画家科佩尔作

中抽象出来的数字和几何图形，揭示出许多深奥的道理。毕达哥拉斯（前580—前500）是突出的代表。

毕达哥拉斯出生在与米利都隔海相望的爱琴海东部的萨莫斯岛。他少年时异常好学，随后在外游历达30年。访问过埃及、叙利亚、腓尼基、高卢和印度。他告诫人们，“游历在外一定不要带有成见。”

异域的见闻和知识引发了毕达哥拉斯深刻的思索和对数学的浓厚兴趣，他发现了蕴藏在现实世界纷繁景象之中的数和形的许多内在规律，为几何学和数论奠定了重要基础。

毕达哥拉斯50岁那年，被迫到今天意大利南部距罗马600千米的海滨城市克罗托内定居。当年这里是古希腊的殖民地，他在此建立学校并组织秘密学术团体，史称“毕达哥拉斯学派”。毕达哥拉斯学派最大的贡献是在数学方面。毕达哥拉斯创办的学校是世界上第一所男女平等的学校，学生达数百人，毕达哥拉斯亲任校长。这所学校的课程共有四类：几何学、数学、天文学和音乐，对女生还加授文学与家政。

毕达哥拉斯对人们司空见惯的几何图形赋予惊人的理论，第一次证明任意三角形三个内角之和永远等于180度；发现了直角三角形三条边的长度服从一种普遍规律：两条直角边的平方之和等于斜边的平方。这就是有名的“毕达哥拉斯定理”。相传当年发现这个定理时，人们宰杀了100头牛以示庆贺，这个定理又称“百牛定理”。

毕达哥拉斯精心研究正多边形及以正多边形构成正多面体的规律，发现只有正三角形、正方形和正五边形能够构成正多面体。这个发现直到2000年之后才由法国数学家笛卡儿（1596—1650）加以证明。

毕达哥拉斯学派把几何学延伸到其他数学领域。他们在研究正方形的时候，发现边长和对角线的长度相互间不可能用分数表示，把这种不可通约的数叫做“无理数”，意思是一种没有道理的数。后来人们发现许多重要的数都是“无理数”，例如圆周率 π ，自然对数的底 e 和许多简单正整数的平方根等等。由于毕达哥拉斯及其学派的工作，人

们向数学王国迈进了一大步。

毕达哥拉斯对正五边形情有独钟，提出了经典的作图方法。他遵从严格几何学程序画出的正五角星具有极高的美学价值，五角星的每一条边都在黄金分割点上与其他的边两次相交，显得庄重、华贵、美丽。相传当时毕达哥拉斯学派成员每人佩戴一枚正五角星徽章。今天全世界42个国家的国旗上都有五角星，这种特殊的几何图形具有超越时代和地域的美。

毕达哥拉斯是一位思想深邃的哲人。他率先提出了今天西方世界语言中“宇宙”一词，“宇宙”在古希腊语中的意思是“有规律的世界”。

在古希腊语中，“哲学”与“智慧”是同义词，毕达哥拉斯认为，这种含义过于自负，哲学应该是对智慧的探求。今天西方世界语言中“哲学”一词的原意就是毕达哥拉斯当年用古希腊语作出的解释。

毕达哥拉斯80岁高龄的时候，克罗托内发生动乱，他在颠沛流离中死去。

公元前5世纪，古希腊医学发生了深刻变化，医学开始从原始宗教和神灵崇拜中解脱出来。古希腊的医生这时已经定居下来，开设医疗处或办公室，坐诊或者出诊，无需再游走行医。以希波克拉底（前460—前377）为代表的学者认为，疾病是一种服从自然法则的过程，应当遵从疾病的自然规律治疗病人。

希波克拉底出生于古希腊柯斯，父亲是一位名医，他本人医术也十分高明，马其顿王与波斯王曾经接受过他的诊治。希波克拉底编

纂过医学文献集，其中有供研读的教科

书、家庭医学指导、对学生的讲演稿、

研究与观测心得报告和重要临床诊

断记录；文献中有他亲自撰写的

四件：《箴言》《症状判断》

《急性病疗法》及《论头部伤

口》。今天人们仍然认为这是古

代最好的医学文献集。希波克拉

底以他的医学实践和对疾病的审

慎研究，奠定了临床医学基础。

希波克拉底在西方世界最

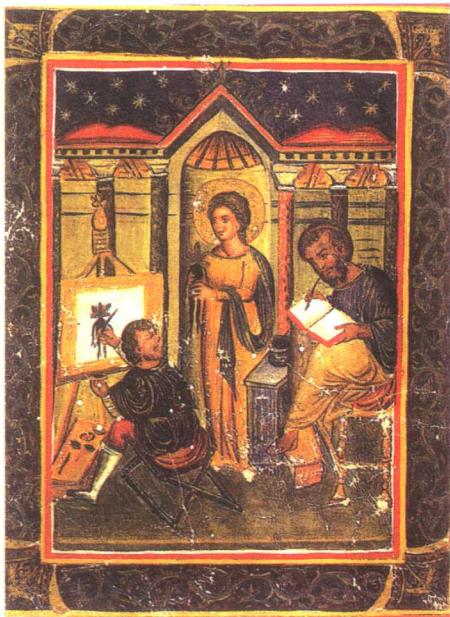
在古希腊语言中，“哲学”与“智慧”是同义词。毕达哥拉斯认为，这种含义过于自负，哲学应该是对智慧的探求。



▲ 公元前5世纪的一件陶盘，刻画出古希腊人沉静思索的神情

早明确提出医师职业道德准则。由他提出的誓约，已经成为今天西方世界每一所医学院校学生必须宣誓遵从的誓约，这就是有名的“希波克拉底誓约”。

誓约中说：“我愿尽我的能力与判断，用医疗帮助患者，决不用以伤害人及用于不正当目的。我决不受人要求去毒害任何人，也决不建议他人去这样做。我将使我的生命和技艺保持纯洁而神圣。不论进入任何人的住宅，我将帮助患者，我决不故意做错事与伤害人，不论他们是奴隶或自由人。不论我在执业时，以及工作以外与人接触中，所见所闻，只要不应对外透露，我决不宣泄，而将其视作神圣的秘密予以保守。”



▲古希腊医生正在描绘药用植物标本

希波克拉底还对医生提出了这样的职业要求：“谨慎检点自己，当你进入病人的房间时，须注意坐姿、保持拘谨、整饰衣服，说话肯定而简洁、安详，除仪态外，还须自制，要求人肃静，而且随时准备做应做之事。有时候你应该免费为人服务；假如有机会为陷入贫困的陌生人服务，应尽力予以协助。因为人有爱，我们的技艺亦有爱。”他还说，假若医生除了具备这些之外再研读及运用哲学，他就成为理想的医生，因为“一名酷爱知识的医生，堪与一位神并驾齐驱”。

人类的科学技术活动最先在医学领域表现出强烈的人文色彩。

人类思想的洞察力有时会远远超过视觉，哲学家对世界的观察有时比科学家更敏锐。

古希腊哲学家德谟克利特（前460—前370）在深思熟虑之后，提出了一个在科学上最富于想象力的论断：“宇宙间一切物质都是由原子构成的。原子是不可再分的微小颗粒，肉眼看不见它们。它们不能产生也不能消灭，以不同的方式结合在一起就构成不同的物体。”2400年后的20世纪，人们借助电子显微镜才真正看到了原子。

人类的科学技术活动，最先在医学领域表现出强烈的人文色彩。

德谟克利特出生在古希腊爱琴海北部的伯特拉，从父亲那里继承了相当于今天60万美元的巨额财产。他用这笔钱周游埃及、巴比伦尼亚、波斯和印度，搜求最偏远地方的事

物，接触过许多思想家。当这笔钱所剩无几的时候，他成了生活简朴的学者，专心研究与沉思。他认为许多星球是宇宙的散落物自然形成的，银河不过是遥远的人们看不清楚的无数星星。他精通数学，计算过金字塔的体积；曾经用极限求和的办法证明圆锥体的体积，等于同底同高圆柱体体积的 $\frac{1}{3}$ 。实际上，他在计算中已经使用了微积分的方法。

德谟克利特以大众化的语言向公众解释他的原子论。他说，“人和树唯一的区别，仅仅在于组成它们的原子数量和排列方式不同。我们用刀切开苹果的时候，实际上是通过原子之间的空隙。宇宙间只有原子和虚空，虚空为原子提供了运动排列的空间。”今天现代科学所用的“原子”一词，就是当时古希腊语中“不可再分”的意思，原子论成为古希腊自然哲学的理论高峰。为了纪念这位超越时代的智者，现在希腊国家发行的硬币和面值100德拉克马的钞票上，都有德谟克利特的头像。



▲ 镌刻在现代希腊硬币上的德谟克利特头像

公元前4世纪初，古希腊哲学家的兴趣转向伦理和政治，渐渐失去了对自然的热情，也逐渐失去了自然科学的思想光辉。以人本主义和体系哲学为主要特征的雅典学派成为古希腊的主流学派，学术中心转向雅典。此后数百年间，古希腊自然哲学以一种奇特的方式，传播到希腊本土之外的地方，在埃及亚历山大城和地中海的西西里岛放射出耀眼的光芒。

人类思想的洞察力
有时会远远超过视觉，
哲学家对世界的观察有
时比科学家更敏锐。

公元前336年，20岁的亚历山大（前356—前323）在马其顿登上王位，不久征服了希腊。亚历山大曾经是著名古希腊哲学家亚里士多德（前384—前322）的学生。这位浸透希腊文化的年轻君王带领大军东征西讨，十余年间使亚历山大帝国版图横跨欧亚非三大洲，东到帕米尔高原和印度河，西到埃及、利比亚和地中海周围广大地区。古希腊的哲学和文化迅速传播到远离爱琴海的



大帝国版图横跨欧亚非三大洲，东到帕米尔高原和印度河，西到埃及、利比亚和地中海周围广大地区。古希腊的哲学和文化迅速传播到远离爱琴海的

◀ 古希腊人驾驶三层桨战舰出海的浮雕



▲ 亚历山大三世头像金币

地方。当它们与这些地区悠远丰富的知识结合的时候，人类的探索与创造活动翻开了新的一页。

公元前323年，亚历山大大帝英年早逝，他的爱将托勒密护送灵柩到埃及尼罗河口西面的一个海港城市安葬，这个城市名叫亚历山大城。托勒密同时在这里建立了自己的王朝，以亚历山大城作为国都。

这个王朝带有极为浓重的希腊色彩。公元前290年左右，托勒密王朝开始建立亚历山大图书馆与

博物馆。王朝重金收购文献标本充实图书馆和博物馆，并颁布法令，对过往此城的所有旅行者和船只严加盘查，

专门检查携带的文献书籍，发现之后将原件强行收归图书馆，把抄写的副本还给主人。

亚历山大图书馆和博物馆是人类历史上最早由国家设立的研究院，它包括天文台、实验室、解剖室、植物园、动物园和一个藏书达70万册的图书馆。馆中住着哲学家、数学家、医生、植物学家、动物学家、天文学家、地理学家、语言学家、艺术家和诗人，还有授课的讲堂，这些学者由国家供养。当时整个地中海世界的学者受这里探索的氛围、免费的食宿和令人羡慕的薪金吸引，纷纷来到亚历山大城。亚历山大城成了当时世界真正的学术中心。

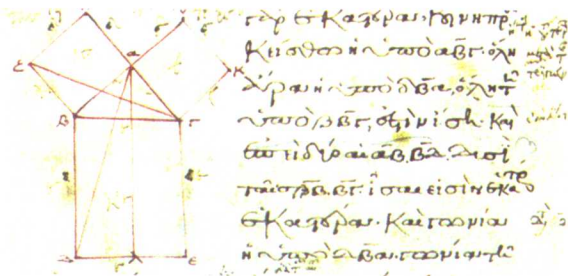
在亚历山大城，欧几里得（前330—前260）著述的《几何原本》，成为用公理法建立起演绎体系的最早典范，是数学史上一部划时代的著作，对数学和其他自然科学的发展产生了深远的影响。

欧几里得早年在希腊雅典学习，后来在亚历山大图书馆从事研究，把古埃及以来的几何学知识汇集在一起，发现了它们之间内在的联系，使几何学由一门丈量土地的知识成为一种新的思维方式。

《几何原本》共15章。1607年，意大利传教士利玛窦（1552—1610）和中国学者徐光启（1563—1633）合作译出了《几何原本》前6章的中译本。这是第一部进入中国的西方科学著作。250年后，《几何原本》后9章译成中文，1857年中国才有了《几何原本》的全译本。

1663年，牛顿（1643—

► 《几何原本》中证明毕达哥拉斯定理的片断



爱因斯坦在谈到近代科学的起源时说：“近代科学有两个重要的基础：一个是古希腊人发现的逻辑体系（包含在《几何原本》之中）；另一个是人们认识到实验可以发现自然界的因果关系。”

1727)在市场上买到这本书惊喜万分，在读过它两年之后，牛顿发明了微积分。《几何原本》中阐述的推理方法和数学智慧，为牛顿发现“物体运动三定律”和“万有引力定律”奠定了重要的基础。

爱因斯坦（1879—1955）在谈到近代科学的起源时说：

“近代科学有两个重要的基础：一个是古希腊人发现的逻辑体系（包含在《几何原本》之中）；另一个是人们认识到实验可以发现自然界的因果关系。”

《几何原本》的主要内容已经成为今天全世界中学生必修的课程。在现代科学和工程技术的许多领域，《几何原本》阐明的逻辑推理和思维规则，一直是科学方法的重要标志。

稍后不久，在地中海西西里岛东部海港城市锡拉库萨（这是古希腊人当年建立的另一个海外殖民地），出现了另一位伟大的学者阿基米德（前285—前212）。今天有人戏言，小学生可能不知道希腊，但肯定知道阿基米德。

阿基米德是希腊人，父亲是一位文学家，表兄是当时开明的支持学术研究的统治者，曾经在位54年。阿基米德早年到亚历山大城，在欧几里得继承者门下学习，回到锡拉库萨之后，潜心研究数学。

阿基米德在数学上取得了很大的成就。他用内接和外切正92边形，以直线段长度计算圆周长。他认为：当多边形的边数无限增加时，这些直线段的长度总和就非常接近圆周的长度，不仅巧妙地解决了圆周长度测量问题，而且提出了在数学上十分重要的极限概念。用这种方法，他计算出 π 值——圆周长与直径长度的比值，介于3.141~3.142之间，是历史上第一个测量圆周率达到这种精度的人。他不仅精于具体的数学计算，更热衷于找出计算的普遍规律。他推导出圆锥、圆柱和球体的体积与表面积公式，自认为这是最得意的工作。后来人们把一个与圆柱相切的球体作为他墓碑的标志。

阿基米德仔细研究分析人类已经使用数百万年的棍棒工具，阐明了力平衡必须遵从的规律，发现了杠杆原理。这一原理表明，用杠杆搬动重物时，作用力与着力点到支点距离的乘积，等于重物受到



►与阿基米德同时代的陶罐，古希腊人探索宇宙时仍不忘幽默。西西里岛出土，公元前3世纪



◀ 古希腊青铜艺术品“柔情的双手”，实际上是一个胡桃夹子，公元前3世纪（存塔兰托国家考古博物馆）

的力与其到支点距离的乘积。可以通过增加着力点到支点的距离的办法，用不大的力搬动沉重的物体。这位从来不说大话的科学家留下一句豪言壮语：“给我一个支点，我能移动地球！”这是一句符合科学道理的话，只要阿基米德的手离支点足够远，当他轻轻推动这根假想杠杆的时候，地球一定会顺从地移动。

阿基米德还发现了浮力原理，为流体静力学奠定了最重要的基础。人们早就知道许多物体可以漂浮在水上，但说不清楚它们在什么条件下会沉没。阿基米德发现的原理告诉人们：

物体在液体中受到的浮力等于排开同体积液体的重量。

杠杆原理和浮力原理，是人类最早发现的两个物理学原理，它标志着物理学的诞生。迄今为止，还没有发现自然界任何事例违背这两条原理。

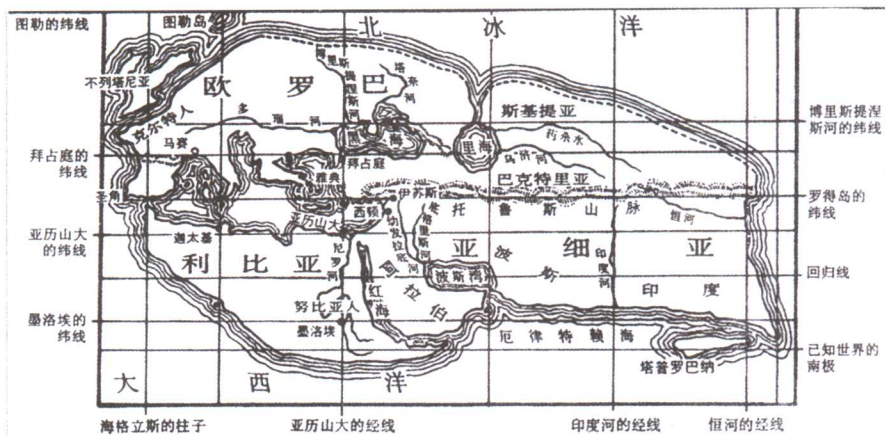
根据杠杆原理和浮力原理，人们可以放心地造出灵巧的机器和结实的大船，而且可以事先通过科学计算把它们设计出来。这是人类发明活动伟大的里程碑，它标志着人们可以在科学理论的指导下进行创造活动。

阿基米德是运用科学原理解决实际问题的杰出发明家，他曾经设计制造出可以把水提向高处的螺旋式抽水机，可以搬运重物的滑轮组合起重机，这些发明人们今天还在使用。

阿基米德曾经为锡拉库萨国王设计督造过一艘巨大的船，船身长138米，载重3900吨，自重1000吨，船上装有一具抛射石块的机器，可以把80千克重的石头抛掷出去击毁敌方船只，还有许多强劲的弩机，可以射出6米长的箭远距离攻击敌人。这艘船太大且在当时找不到实际的用途，后来作为礼物送给了埃及国王。

阿基米德喜欢宁静的生活，但不幸的是，他生活在锡拉库萨城不得安宁的年代。锡拉库萨城是罗马人和迦太基人都想争夺的地方，连年战争不断。阿基米德75岁的时候，罗马人攻打这座城市，他亲自督导两条战线的防卫，在城墙后面设置了巧妙利用杠杆原理做成的石炮，能将石头抛到很远的地方给罗马军队以致命打击。

发现杠杆原理和浮力原理，是人类发明活动伟大的里程碑，它标志着人们可以在科学理论的指导下进行创造活动。



▲埃拉托西尼在公元前200年所绘的世界地图，他对地中海周围，欧洲大部、非洲北部和亚洲西部的描绘比较准确，对其他地区则知之甚少

锡拉库萨城坚守8个月之后，终于被罗马人攻破。一个罗马军人在劫掠途中遇见一位老人正在埋头研究画在沙地上的图形，这个军人粗野地踩坏了他看不明白的线条。老人抬起头来说：“走开！不要妨碍我。”军人立即刺死了他。这位老人就是伟大的阿基米德。

公元前3世纪，人类对地球的认识发生了一次重大的飞跃。亚历山大城的一位科学家，令人惊讶地测出了地球的大小。

在很早以前，至少已经有三种证据表明人类居住的大地是一个巨大球体的一部分。因为人们无论从哪个方向一直朝前走，必定会看到新的星星；发生月食的时候，一道清晰的弧形阴影会缓慢掠过明亮的月球，这道弧线就是地球的轮廓线；在大海中航行的人无论从哪个方向看远去的船只，总是船身先消失，桅尖最后隐去。至于这个球到底有多大，似乎人类无法知道。

一位名叫埃拉托西尼（前276—前194）的学者第一次相当精确地测量出地球的半径，还测量出地球自转赤道平面和绕太阳公转轨道平面之间的交角。

埃拉托西尼是一位天文学家、历史学家、地理学家、哲学家、诗人和数学家，40岁

公元前3世纪，人类对地球的认识发生了一次重大飞跃。亚历山大城的一位科学家，令人惊讶地测出了地球的大小。

时就任亚历山大图书馆馆长。他在这个图书馆的一部手抄本中读道：“在埃及南部的西因城靠近尼罗河第一大瀑布的地方，6月21日中午直立的长竿在太阳下没有阴影，这一天太阳可以直照在深井底部，从井口可以看见水中太阳的倒影。”他想看看6月21日这天中午直立的长竿在亚历山大城有没有阴影？观测的结果表明与西因城的情况完全不同，有阴影。

古希腊的哲学和文化迅速传播到远离爱琴海的地方。当它们与这些地区悠远丰富的知识结合的时候，人类的探索与创造活动翻开了新的一页。

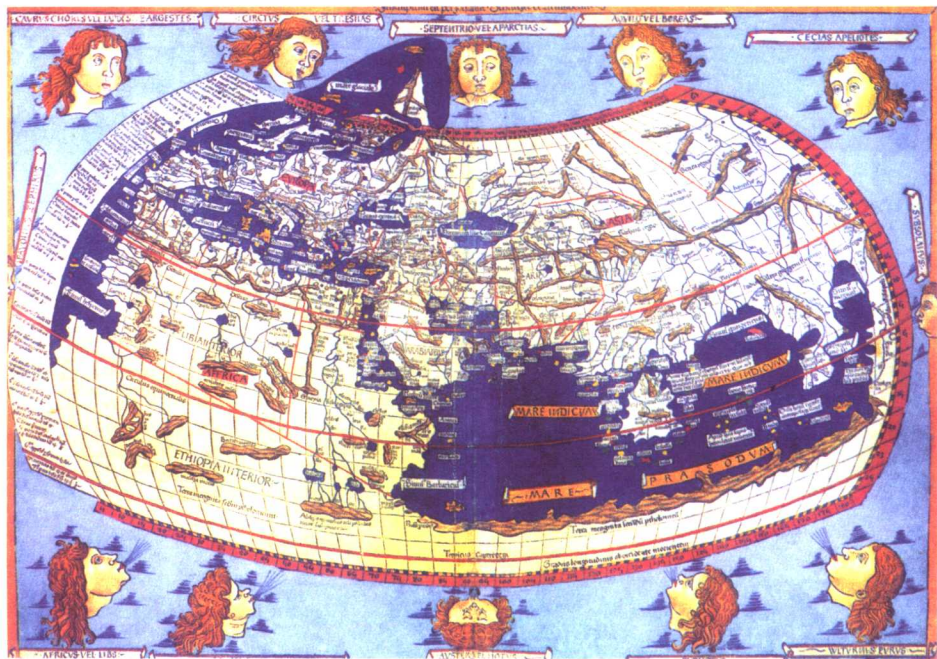
作为科学家，埃拉托西尼意识到这可能是测量地球大小难得的机会。在6月21日这天中午，他根据亚历山大城方尖碑投下的阴影计算出太阳光线和方尖碑的夹角大约等于7度，大约相当于地球圆周360度的1/50。他曾雇人骑骆驼测量过亚历山大城和南面的西因之间距离约为800千米，通过几何学计算，得出地球

的周长应该是4万千米。这个数值和今天的测量结果相差非常小。

不同的季节，太阳光线投射在地面上的角度会发生变化。冬至的正午，西因的方尖碑也向北投下长长的阴影。埃拉托西尼推断，地球自转轨道平面和地球绕太阳公转的轨道平面之间有一个交角，这个交角应该是冬至正午时太阳光线和地处西因的方尖碑交角的1/2。他测出这个角度是23度50分12秒。

埃拉托西尼是一位想象力丰富的科学家。当他看到印度洋和大西洋潮汐服从同一种规律涨落，便联想到这两个大洋应该是连通的。他推测如果沿着尼罗河一直向南走去，会达到一个大岛的尽头。他绘出了人类历史上第一张世界地图。埃拉托西尼最早提出：从大西洋向西航行，可以通过连通的大海到达亚洲的东部。这个观念在1700年之后鼓舞

▼ 托勒密在公元2世纪绘制的世界地图，与300年前的地图相比，世界的范围已经扩大了许多





▲文艺复兴时期著名画家拉斐尔（1485—1520）在1511年创作的一幅油画《雅典学院》，画家无限景仰地赞美古希腊自由的学术氛围和学者探究真理的精神（存梵蒂冈博物馆）

哥伦布（1451—1506）完成了发现美洲的壮举。公元前205年，罗马人征服埃及。亚历山大城逐渐失去了往日的辉煌。

公元前47年，罗马执政官恺撒（前144—前100）在亚历山大城遭遇激战，战火烧毁了亚历山大图书馆的大部分建筑和莎草纸文卷，人们对燃烧的图书馆漠不关心。

公元4世纪末，亚历山大城出现了古代第一位杰出的女科学家，也是在亚历山大图书馆工作的最后一位科学家希帕蒂娅（370—415）。她是一位数学家、天文学家和物理学家，担任

过亚历山大城新柏拉图学院院长。她设计过观测天体的星盘和测量液体密度的比重计，发表过许多关于天文学和数学的重要见解，对圆锥曲线有精深的研究。

亚历山大城由古罗马帝国统治了很长一段时间，古罗马教会憎恨科学和科学家，视科学为异教，科学家们在这里的境遇十分险恶。公元415年，希帕蒂娅在去学院工作的路上，被主教手下的宗教暴徒拖下马车，劫持到教堂，剥光衣服，用锋利的鲍鱼壳割下皮肉，残害致死。暴徒焚烧了她的遗体，销毁了她的著作，捣毁了她的研究室。

同年，亚历山大城塞拉比斯神庙图书馆被焚毁，数十万卷撰写在莎草纸上的文献化为灰烬。在希腊本土以及希腊文化波及的地域，充满生机的探索精神已经荡然无存，只有昔日学者的手稿，零星散落在无人问津的地方。

希帕蒂娅之死，标志着亚历山大城学术活动的终结。古希腊科学智慧之光闪烁1000年之后最终熄灭。

经过千年沉寂，蕴藏在这些尘封文卷中的思想光辉，以新的方式照亮了人类探究自然的道路。■

公元5世纪，在希腊本土以及希腊文化波及的地域，充满生机的探索精神已经荡然无存，只有昔日学者的手稿，零星散落在无人问津的地方。

五 中国古代发明

古代中国以基础性发明贡献于人类。如果缺少它们，世界也许是另一番景象。

大约在公元前6世纪到公元13世纪这1800年间，中国发明家走在世界前列。他们在众多领域创造全新的技术，解决了长久困扰人类的许多问题，这些技术发明使人类活动的方式发生了重大变化，这种变化一直延续至今。

公元前6世纪，中国人发明液态生铁冶炼技术，解决了人类步入铁器时代之后面临的一个最大难题，开始用简便的方法把铁矿石源源不断地变成铁和铁器。而在此之前，人们一直沿用赫梯人在公元前2000年发明的炼铁技术，以低温固体还原方式把矿石炼成疏松多孔的“海绵铁”；炼出的铁需要人工反复锤打，除去杂质，锻造成型，做成器具。而且，炼好一炉铁后，必须待炼铁炉冷却，打碎炉体，取出铁块，再重新砌炉投料点火，进行下一轮冶炼。这种原始技术，生产效率很低，能够做出的器形不多，而且十分浪费燃料。

古代中国不乏驾驭燃烧技术的能手，他们用结实的耐火材料砌成高高的炼铁炉，使炉膛能够承受炽热火焰的高温 and 内部巨大的压力。炉膛里一层木炭一层铁矿石交替铺架，一直铺到炉顶；从下面点燃炉中的木炭，木炭在耐火材料围成的狭小空间燃烧，可显著提高炉内温度，同时产生大量一氧化碳，使铁矿石迅速还原成铁；而且，冶炼燃烧时产

古代中国人发明液态生铁冶炼技术，使矿石源源不断变成铁，解决了人类步入铁器时代之后面临的一个最大难题。

生的热气流，使上层木炭和铁矿石能预先充分加热，进一步提高热能的利用效率，缩短冶炼时间。

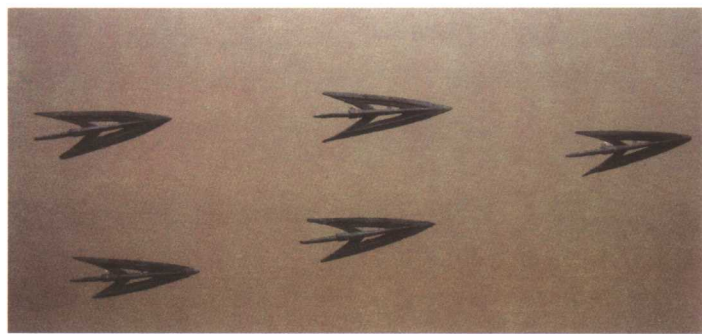
被一氧化碳还原的铁，在炉中与炽热的木炭接触，使大量的碳渗入铁中，降低了铁的熔点。纯铁的熔点为1534摄氏度，当铁中含碳量达到4.3%时，熔点能降低到1146摄氏度，而上述精心设计的炉内，温度可达1200摄氏度以上，含碳的铁在炽热的炉膛里熔化成液体，堆放在炉膛上层的木炭和铁矿石会自动下降到高温区参加反应，只要不断从炉顶向内添加矿石和木炭，铁水就会不断地从炉底流出。铁水流到用陶土或石块制成的模具中，就可铸造成各种形状的铁器。这种炼炉是当今世界普遍使用的炼铁高炉原型。这项发明使人类能够高效便捷地把铁矿石变成铁制用品，这也是人类最早实现的工业化连续作业的成功范例。

史书《左传》中，有公元前513年人们在山西用铁铸鼎的记载，就在这个铁鼎上铸有一部刑法条文；1964年，考古学家在江苏六合程桥一座东周墓中，发现一颗铸造的铁丸，借助显微镜可以见到铁丸清晰的铸铁金相组织；1977年，考古学家在长沙窑岭发现一件公元前5世纪的铸铁鼎，铁中含石墨，其碳含量约4%。大约与此同时，考古学家还在洛阳发现了多件铸铁制造的工具。

液态生铁冶炼技术的发明，全面更新了古代中国的工具、农具和兵器，促进了众多领域技术的进步，为人类制造机器准备了最重要的物质条件。由于这种冶铁技术综合难度很高，关系国计民生，故古代中国的当权者严格禁止外传。直到公元15世纪，西方才出现液态生铁冶炼技术。

大约与此同时，古代中国人总结了自商周以来铸造青铜器物的经验，发现了青铜主

要成分铜、锡的比例与合金性能之间的关系，为冶铸用途不同的各种器物提供了工程设计的依据。成书于春秋时期的《考工记》，明确记述了六种不同的铜、锡比例分别



▲带平衡翅的青铜箭镞，后掠的尾翅使射出的箭飞行稳定，其功能与现代导弹的尾翼相似，商代后期（约公元前1100年），江西省新干县出土（存江西省文物考古所）

适宜制造何种器物，这是人类历史上有文字记载的最早的合金成分与性能对照表。

书中把铸造六类不同器物合理的铜、锡含量之比称为“六齐”，它们分别是：“钟鼎之齐六分其金而锡居一，斧斤之齐五分其金而锡居一，戈戟之齐四分其金而锡居一，大刀之齐三分其金而锡居一，削杀之齐五分其金而锡居二，鉴燧之齐金锡半。”青铜铸鼎含锡量最少，铸镜含锡最多，刀剑则含锡量

居中。这里所说的“金”是指纯铜，当时人们把现代所指的金称为“黄金”。基于对青铜总体特性的把握，古代中国人可以得心应手地创造出许多前所未有的器物。

“六齐”中四次提到兵器，一次提到乐器，这种把握合金性能的智慧集中体现在兵器和乐器的制造中。

与此同时，古代中国人发明了复合材料金属兵器制造技术，用两种不同性能的合金巧妙结合，铸造出既锋利又不易折断的剑。他们首先用低锡青铜铸造韧性良好的剑芯（古兵器专家称之为剑脊），再用高锡青铜包裹剑芯进行第二次铸造，形成坚硬耐磨的锋刃（专家们称为剑肩）。上海博物馆的科学家曾对这种特殊的剑做合金成分分析，发现剑芯含铜约88%，含锡约12%；剑的锋刃含铜约80%，含锡约20%。

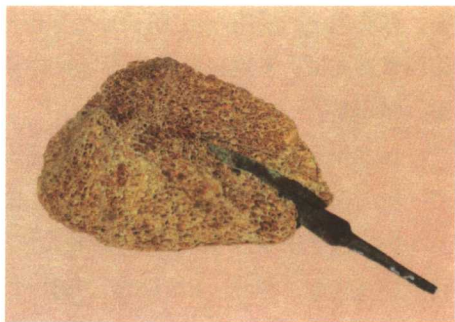
应用现代科学技术对金属材料研究证实，青铜中含锡达15%时，强度最高，不容易折断；含锡达20%，硬度迅速增加，不容易钝刃。由于低锡青铜熔点高，铸造剑肩的时候剑脊不会熔化，这种设计十分合理。

超越单一材料特性的局限，利用复合材料制造器物，是人类工程设计思想的一次飞跃，这种新的思路一直延续到今天。

公元前6世纪，古代中国人在音乐方面已有很高造诣，不仅利用丝、竹、木、革制造出多种音色美妙的乐器，还实现了冶铸技术和声学理论的完美结合，创造出世界上最早的金属组合乐器——编钟。

超越单一材料特性的局限，
利用复合材料制造器物，是人类
工程设计思想的一次飞跃，这种
新的思路一直延续到今天。

编钟能够发出独特优雅乐音，承载人类心灵的创造在历史长河中远航。1978年，考古学家在河南淅川一座楚墓里发现了一批公元前6世纪的古编钟，共52件，最大的一件重达152.8千克。这组编钟声律和



▲一枚春秋战国时期的青铜箭镞，至今牢固地嵌在当时遇害者骨骼中，北京地区出土（存首都博物馆）

谐，音质纯正，采用7声音阶，12个半音齐备。音乐家对其中第四号钟测试，发现正鼓音基频为882.5赫兹，与国际标准音A5（880赫兹）仅相差2.5赫兹。

编钟能够发出独特优雅
的乐音，承载人类心灵
的创造，在历史长河
中远航。

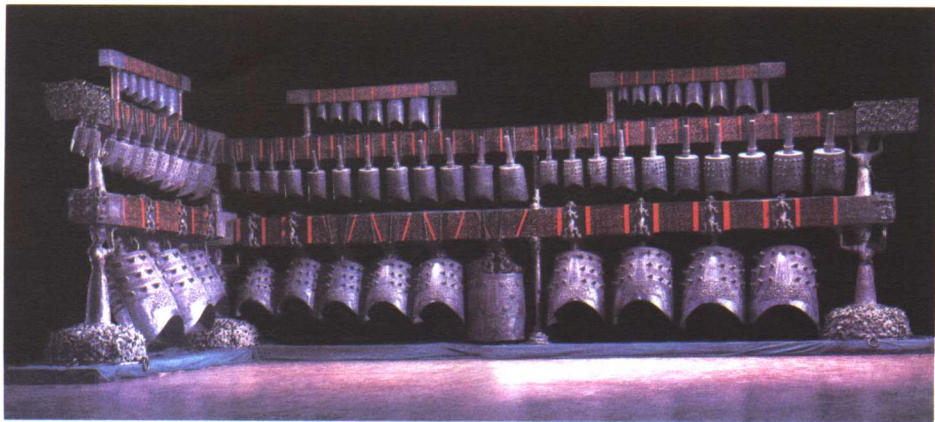
1978年夏天，考古学家在湖北省随州市曾侯乙墓中出土了一套64件完整的青铜编钟，这组公元前423年随葬的乐器，已经在墓室积水中浸泡了2400年。这套编钟和现代国际通用的C大调7声音阶间列相同，可以演奏多声部乐曲，可以旋宫转调，音域达5个半8度。每件钟大小不同，钟体扁圆，好像两片弧形瓦扣合而成，上有错金铭文，是有关音乐方面的资料。当分别敲击每件编钟上两个不同的特定部位时，同一个钟可以产生两种不同基频的振动，发出两种不同的乐音。乐音持续一段时间迅速衰减，不干扰乐曲中下一个音符，这组庞大的钟群能够表达丰富的音乐语言。这组编钟出土之后不久，人们曾经在主管部门还没有来得及干预的情况下，用它演奏过古代楚国的乐曲和为大诗人屈原的名篇《九歌》谱写的乐章，哀婉悲壮。

编钟作为古代中国音乐的载体完美地保存到今天，使人们得以通过它听见2400年前曾经感动古人的声音。

大约公元前4世纪，中国人发明了指南针。这项发明使人类获得了一种无所不在的空间方位指示器，在地球上不致迷失方向。1800年之后，哥伦布和他的水手在指南针帮助下，越过茫茫大海，找到了美洲大陆。

最早的指南针是用磁铁矿石打磨出来的，呈长条形，以巧妙的方式支撑起来，它的轴线会自动指向南方，古人称之为“司南”。

▼曾侯乙编钟，埋藏地下2400年之后，仍然能演奏哀婉动人的乐章湖北省随州市擂鼓墩出土（存湖北省博物馆）



在先秦时期一部名为《鬼谷子》的书中，有应用“司南”的记载。书中写道：“郑人之取玉也，必载‘司南’，为其不惑也。”意思是说，采玉的时候带着它，不会迷失方向。公元前3世纪，战国思想家韩非子在他的著作中讲到，君王凭借“司南”，可以了解国家疆域。

人们推测，原始形态指南针的发明，与公元前6世纪出现的液态生铁冶炼技术有密切关系。由于当时对铁矿的需求大增，古代中国人开始采掘多种多样的铁矿，可能是在开采磁铁矿的时候发现了可以做成“司南”的矿石。这种矿石的化学成分是四氧化三铁，由二价铁的氧化物和三价铁的氧化物复合而成，自身带有一定的磁性，能在地磁场作用下自动指向地球的磁极。

地球上有两个相对的磁极，现在它们一个位于北纬75度，西经101度；另一个位于南纬67度，东经143度。在地球上的大多数地方，地磁场大体和南北方向一致，“司南”的轴线基本上指示南方。地球磁极的位置和极性会随时间推移发生缓慢的交替变化，不过古代“司南”出现的时候，地球磁场与今天差不多。

由于磁铁矿石硬度高，不容易打磨，用它做成的指南针转动不灵活，不够实用。后来，古代中国人发明了两种制造轻便磁体的方法，做成更加实用的指南针。一种是使烧红的薄铁片急剧冷却，沿着地磁场方向被磁化成

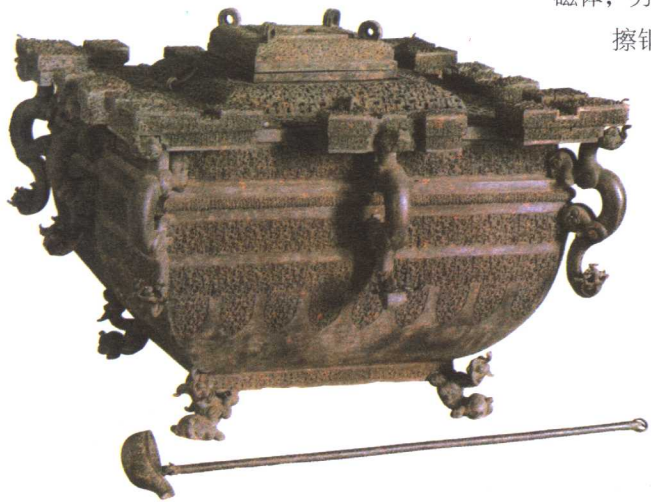
磁体；另一种是以自然界中的磁体摩

擦钢针，使其成为磁针。这两

种小巧的磁体可用细线悬吊，也可以放于漂浮在水面的轻小物体上，或用轴尖从中部轻轻地托起，使其能够绕支点自由转动，停在地磁场的方向。自此，古代中国人完成了这项发明的实用化进程。

指南针最大的价值在于航海。有了它，水手可以全天候航行，使

指南针的发明，使人类获得了一种无所不在的空间方位指示器，使人们在地球上不致迷失方向。1800年之后，哥伦布和他的水手在指南针帮助下，越过茫茫大海，找到了美洲大陆。



▲战国时期的青铜鉴缶，中央是盛酒的容器，缶的外壁和酒器之间放冰，是世界上最早的冰箱。湖北省随州市擂鼓墩出土（存湖北省博物馆）



▲“文信”青铜方孔圆钱，吕不韦担任秦国丞相时所铸，因吕不韦被封为文信侯，钱上书大篆体“文信”二字。这种设计便于批量制造金属货币。公元前3世纪（存辽宁省博物馆）

洲际航海成为可能。

指南针在公元12世纪通过阿拉伯人传到欧洲，极大地推进了欧洲的航海事业。从15世纪开始，指南针引领西方船队，相继发现、占领、掠夺了无数遥远的海外殖民地，打开了西方资本主义的世界市场，在相当大的程度上改变了世界的政治格局，沟通了居住在地球上不同大陆人们之间的联系与交往。

技术发明增加了人们做新事情的能力，新的铁器制造技术，使人们有可能以全新方式干预自然。

公元前5世纪初，中国开始大规模开凿运河，修建水利工程。长江中下游相继开凿了从太湖东面到达杭州湾、从太湖西面到达长江，以及从苏州到达江阴连

通长江的运河，还有连通黄河与淮河的运河。

公元前3世纪，战国时期秦国的水利专家李冰，主持修建了引岷江水灌溉成都平原的都江堰水利工程。这项工程使2000万亩土地年年丰产，使生活在那里的人们受益2000多年，四川由此成为名副其实的“天府之国”。

水利史上许多重大发明，均产生于一些宏大的工程建设，诸如人类驾驭江河水流的新技术。公元前3世纪末，古代中国人开凿了沟通长江水系和珠江水系的运河——灵渠，把水利工程技术推向新的高度。

公元前219年，秦始皇50万大军攻打南粤受阻，为解决部队军需特别是粮食供应问题，命监御史禄督造连通湘江和漓江的运河，以便中原船只直达岭南。灵渠工程历时五年，竣工后长江的船只可以直达广州。这条运河从公元前214年开始担负水运任务，直到20世纪湘桂铁路通车为止，2000多年间成为岭南和中原之间重要的交通航道，使得五岭阻隔的长江流域和珠江流域连为一体。

灵渠建在北上的湘江与南去的漓江之间的峡谷地带，穿越峡谷台地引湘江水入漓江，同时兼有运输和灌溉两种功能。这项水



►持罗盘陶俑，陶俑手中持一罗盘。高22.2厘米，江西临川朱济南墓出土，南宋时期（1127-1277）（存江西临川上渡文物管理所）

利史上奇巧的工程，包含着三项重大发明：

第一是大江分流技术。当年人们在湘江上建造“人”字形水坝，拦腰截断水流。水坝呈曲尺状，一边长344米，另一边长130米，两边交角108度，坝的尖顶正对江中南来的



▲灵渠小天平滚水坝，灵渠开凿于公元前214年，位于广西壮族自治区兴安县境内

急流。坝顶比河岸稍低，洪水季节，湘江水越过坝顶直接流入故道，不会泛滥；枯水季节，江水沿坝的两边改变流向，将30%湘江水引入漓江，70%湘江水导入迂缓的人工河道重归湘江故道。“人”字形结构的拦水坝是一项创举，显著地减少了水流对坝的压力，增大了泄洪能力。古人把这道奇妙的坝称为“天平”，寓意巧夺天工，能保持运河水位恒定，令江水三七分流。

第二是使巨石连成整体的技术。人们巧妙地运用铸铁连接坝身石块，使其成为一个巨大的刚性整体，保持大坝坚固稳定。由于开采和运输条件限制，建坝的石块不可能太大，灵渠的建筑师在对接的石块两边分别凿出倒梯形凹槽，向其中灌注熔化的生铁，铁水充满两边的梯形凹槽之后冷凝收缩，产生巨大的拉力使石块固紧在一起。用这种办法建造巨大坝体，历时2000年不改原貌。这项利用金属相变产生拉力的刚性物体固紧技术，是建筑史上独特的创举。直到明代，戚继光指挥修建万里长城东段山海关深入渤海的水下基础时，仍沿用这种办法把分离的石块固紧在一起。

第三是使船舶由低水位向高水位自由航行的技术。利用这种技术建造的设施称为“船闸”。当时人们把建在灵渠上的船闸叫做“陡门”。有了船闸，船只可以在浮力作用下垂直升降，由低水位航道进入高水位航道，使不同高程的水域能够相互通航。正是由于这项发明，今天人们在江河上建水库，拦江大坝才不会阻断往来航行的船只。

技术发明增加了人们做新事情的能力，新的铁器制造技术，使人们有可能以全新方式干预自然。

江水在灵渠分流之后各行其道。进入漓江的水蜿蜒曲折穿过高山峡谷注入南海，余下的湘江水进入长江中下游平原，一泻千里流入东海。明代诗人鲁铎游灵渠，曾感慨万千，赋诗一首：“一道源泉却两支，右为湘水左为漓。谁知万里分流去，到海还应有会时。”

公元前3世纪，中国人发明了最早的深井钻探技术，人类从此开始获取深藏地下的矿产资源。深井钻探技术最先用于获取四川盆地的食盐和天然气。

战国末期，秦国已经吞并地处今天重庆市和四川省的巴、蜀，将其划为秦国属地。当时秦国水利专家李冰出任蜀郡太守，他十分关注今天四川宜宾地区的食盐采集问题。

四川盆地过去曾是一片古海洋，后来古海洋在地壳运动中干涸，海底抬升成为今天的陆地，在一些地区接近地表的岩层中，储存着高度浓缩的食盐溶液，有时它们沿着岩石裂隙渗出地面，成为当地人们获取食盐的来源。露出地表的盐水分散稀少，而且容易污染，人们希望打井取盐。然而四川盆地的地下水位高，泥土潮湿，打深井十分困难。

李冰长期生活在关中盆地，熟悉黄土高原打深井取水技术。他指导人们，在向下挖掘时随即放下中间开有圆孔的石圈，随着深度增加，石圈逐渐下沉。多层石圈摞在一起，形成长长的坚固竖直石管道，可以防止井壁坍塌。挖到地下岩层时，通过石圈构成的垂直管道，用竹缆悬吊铸铁锤反复敲砸岩石，打通岩层，即到达储藏丰富盐水的地方。竹缆承载强度远比麻绳高，悬吊的铁锤有的重达100多千克，能产生很强的冲击力。人们采用当地盛产的竹竿，打通竹节，一根一根衔接，做成不漏水的管道，从地表向下沿石圈中央孔道，穿过打通的岩层汲取盐水。有些地方井下压力高，盐水会沿着竹管自动流向地面。今天四川省自贡市的地名与这种早年的采盐技术有关，“自”即指这里有能够自流的盐井，“贡”指珍贵的盐作为贡品奉献给皇家。

四川宜宾地区地下不仅有丰富的盐，还有丰富的天然气。人们钻井采盐，有时管道会冒出天然气，人们用同样的办法把它引出来，点燃加热盛满盐水的铁锅，使水分蒸发，留下食盐固体。古代中国曾经有这样的记载，用这种办法开采天然气，有时一口井输送的天然气可以加热5100个盐锅。

这项发明使远离大海的中国内地居民获得了可靠的食盐供应，也为日后人类地质勘探活动与地下矿产资源开采，提供了重要的技术方案。正是地下的矿产资源，支撑着近、现代的世界工业文明。

直到公元17世纪，欧洲人才从一个荷兰商人口中得知中国人的这种钻井技术。到1834年，欧洲人将这种技术用于打盐井；1841年，开始用这种技术钻油井；1859年，德里克在美国宾夕法尼亚州，用中国人发明的竹缆悬吊铁锤凿岩石的办法，钻出第一口油



▲纸地图，这张地图所用的纸是目前所知世界上最早的纸，甘肃省天水市放马滩5号汉墓出土（存甘肃省博物馆）

井。他是从在美国修筑铁路的中国劳工那里知道这种技术的。

公元前2世纪，亦即人类发明纺织技术5000年之后，古代中国人利用大自然中的植物纤维发明了另一类纤维制品——纸。不过，当时造纸的用意不是为了写字，而是为了包装物品或做他用，后来才发现写字是纸最有价值的用途。这项发明使人类

有了记录和传递文字图像信息的理想载体，为思想和智慧的传播提供了最重要的物质基础。

1986年，考古学家在甘肃省天水市放马滩5号汉墓发现一幅纸地图，上面有山丘、河流、悬崖和道路，这是人们见到的世界上最早的纸。这种纸是用大麻纤维制成的，表面比较粗糙。

公元114年，东汉皇室掌管御用器物的官员蔡伦改进造纸技术，用树皮、破布、旧渔网和丢弃的短麻绳为原料造纸。他先把这些原料放置水中充分浸泡，用碱除去油脂和胶质之后捣碎，使绒毛状纤维分散在水中形成浆状悬浮物；然后用一张细竹丝编成的滤网从水底由下而上轻轻地把它们捞出；由于悬浮在水中的细小纤维横七竖八，且在水中密度分布大体相近，沉积在滤网上的纤维便相互勾连搭接，就像一床薄薄的棉絮；经过压榨脱水烘干，勾连的纤维紧紧地贴在一起，结成一张牢固的网，成为厚薄均匀、表面平整的纸张。

这些看似光洁的纸张，实则布满各式各样的微型毛细管，当用毛笔蘸墨汁或颜料在纸上书写时，由于液体表面张力的作用，这些干燥的植物纤维通过吸附浸润，会使墨汁或颜料迅速进入纸张内部；待水分蒸发之后，墨汁中的炭粒和颜料的固体微粒牢固地附着在纤维深处，书写的笔迹可经久

欧洲人学会造纸之前，其文卷多为羊皮，抄写一部《圣经》需要羊皮300张。纸的发明，使文字插上轻盈的翅膀，带着人类的思想和智慧飞向远方。

不褪。

从前，人们把字写在莎草、羊皮、木简、竹简或绢帛上。欧洲人学会造纸之前，其文卷多为羊皮，抄写一部《圣经》需要300张羊皮。由于上述文字载体各有各的缺陷，有的太重，有的太贵，有的不易保存，有的不耐翻阅，在相当大的程度上制约了人类文化信息的有效传播。然而，纸张轻而薄，价格低廉，方便人们购买，而且可以装订成册，容纳大量的文字信息，纸极大地提高了信息传播的效率。

纸的发明，使文字插上轻盈的翅膀，带着人类的思想和智慧飞向远方。公元3世纪，中国的造纸技术传到朝鲜；7世纪传入日本；8世纪传入阿拉伯；12世纪传入法国；15世纪末传入英国；17世纪由英国传入美国。

古代中国人在工程技术领域创造了众多的新事物，这些发明分别成为今天许多领域的技术基础。

大约公元前200年，古代中国人发明了独轮车。这种只有一个轮子的车，与从前的车完全不一样，它是一种高重心单一支点的滚动装置。这种车转向灵活，对道路几乎没有宽度要求，在运动中保持平衡，能够在崎岖的小路上轻松地搬运重物。这件发明需要极为丰富的想象力，至今人们还不清楚它的发明过程。有人猜测，罗贯中在《三国演义》中描述的诸葛亮运粮用的“木牛流马”，实际上可能就是独轮车。1700年之后，欧洲人为独轮车在行进的方向上添加一个轮子，变成了今天的自行车。

西汉时期（前206—公元25），中国人发明了机械传动装置中最重要核心部件——金属齿轮。齿轮是一种带齿的轮子，许多大小不同的齿轮相互啮合能够改变机器旋转的速度和力量。金属齿轮的出现，表明当时中国人已经有能力把简单的手工具变成庞大而且复杂的机器。在福建省武夷山市城村汉城遗址出土的一座西汉墓中，人们发现了一件铁铸的齿轮，外径8厘米，厚度3厘米，外缘有20个齿，中央有一个方孔，用来与一根截面为正正方形的长杆连接，构成传动系统。



大约与此同时，古代中国人先后完成了船舶推进与控制技术方面的两项重大发明，创造了橹和舵。

中华大地幅员辽阔，河流纵横，船只只是人们不可或缺的水上交通工具。从石器时代使用独木

◀ 西汉的铜齿轮，采用这种奇异的齿形，可以传送巨大的力量，带动复杂的机械装置。高0.9厘米，外径1.5厘米，陕西长安洪庆村出土（存中国国家博物馆）

舟开始，人们一直使用桨划船。划船人手中的桨周而复始地在空气和水中运动，桨划过空气的时候不产生推力，无谓地消耗体能；划桨时拍击水面还会引起船舶震动；在船的一侧划桨，还会改变船前进的方向。

公元前1世纪，中国人发明了橹。橹在水中运动，像鱼儿尾部摆动，利用水的轴向反作用力，为船舶提供连续稳定的动力，无声而有力。橹减轻了划船的劳动强度，提高了航行速度，使船的航行更加平衡。今天人们到浙江绍兴，还能看到头戴毡帽的船工双手插在袖筒里，悠闲地用脚摇橹的情景。

18世纪，蒸汽机诞生之后，桨演变成安装在船体两侧、由蒸汽机带动旋转的桨轮；橹演变成深藏水下的螺旋桨。明轮早已淘汰，螺旋桨成为一切机动船舶的动力来源，后来又成为早年飞机最主要的部件。

大约公元1世纪，中国人发明了舵。舵使船舶航行技术发生重大变化，能够负重险恶的水域中远航。当时名为《释名》的书有关于舵的记载。考古学家在一座汉墓的随葬品中，曾发现陶制模型船，船上有可以升降的舵。

船在水中航行，由于船体巨大的惯性，控制它的运动方向需要用很大力量，亦需要很高的技巧，数千年间曾难倒无数船家。中国人发明的舵，巧妙地利用不对称水流的侧向推力，使水流自身产生改变船体运动方向的力矩，实现了船舶动力系统与控制系统的

分离，为船舶制造与驾驶技术作出具有里程碑意义的贡献。利用舵控制方向，已经成为今天一切船舶和飞行器的基本工作模式。

公元132年，东汉时期的科学家张衡（78—139），发明了测报远方地震的科学仪器。这项发明标志着人类第一次超越感觉器官的局限，用科学仪器获取重要的大地运动信息。

张衡注意到地震发生时，远离震中



◀带“六博”图案的青铜镜，这枚铜镜的背面纹饰有四组对称的直角形、丁字形和曲尺形图案，有标识东西南北方位的动物图案，是中国古代称为“六博”的棋盘。今天人们一直不知道这种棋的对弈方法。早于公元前141年，陕西咸阳汉景帝陵出土（存陕西汉阳陵博物馆）



▲内有平衡环的银薰球，唐代（618-907），西安沙坡村出土（存陕西省博物馆）

的大地会发生两种运动，一种是来自震中方向的水平振动，另一种是垂直于地表的振动。在远离震中的地方，地震时第一次发生的水平振动，总是使地面背向震中朝外移动。在这一科学发现的基础上，他利用惯性原理发明了地动仪。

当年，张衡在水平地基上竖起一根高重心直杆，用它作为探测地震的传感器。在没有地震的时候，竖立的直杆处于平衡状态。如果地震波引起直杆的支点瞬间位移，它立即倒向发生地震的方向，敲击相应的器皿发出声响或拨动一个开关，使一个小球从器皿里掉出来，记录发生地震的方位。有一次，张衡用地动仪观测到距京城洛阳644千米的甘肃陇西发生了地震，而京城的人当时都未感觉到，数天之后，信使才从陇西带来地震的消息。从此，朝廷官员开始用这种办法记录地震。

继希腊化时期亚历山大城的科学家埃拉托西尼精确测量地球半径，希帕恰斯推算出月球和地球之间距离之后，张衡发明地动仪，标志着人类在了解地球的艰难历程中又迈出重要的一步。直到公元1880年，英国人米尔恩才发明现代记录地震的仪器。

公元189年，中国工匠丁缓发明了三维运动系统惯性平衡机构。在这种精巧的装置里，无论支架怎样转动，放置其中的物体都永远保持其空间位置不变。这种装置是一件由三个大小不同的金属环依次叠套在一起的组合环，每个环都可绕自身的两个支点自由转动，三个环的旋转轴相互垂直。如果在内环中固定一个小杯，无论组合环怎样旋转滚动，小杯总会保持水平位置。当时，人们用小杯装香料带在身上，香料不会洒出来。后来人们把烧红的炭放在小杯里，带在身上或放在被褥里取暖，无论坐卧俯仰，左右翻身，炭都不会掉出来。

三维运动系统惯性平衡机构的发明，标志着人类在机械制造方面，已经由静力学设计步入动平衡和惯性分析领域。它后来成为制导系统陀螺仪的基础；成为机械传动系统万向节的原型。它们是现代汽车、飞机、火箭、鱼雷、巡航导弹和远洋轮船不可或缺的部件。

公元3世纪，中国人发明了金属马镫。马镫的发明使古代战争格局发生巨大变化。人们在长沙的一座古墓中，发现一件公元302年的有马镫的陶骑俑，据此推断马镫发明

技术和艺术共同造就了神奇的瓷器；瓷器抹去了石器时代留下的最后一道痕迹。

的时间不应该比这更晚。

人类驾驭马的历史可以追溯到7000年前。早年，由于没有马镫，骑士只能坐在马背上以臀部为支点保持身体平衡。

然而，人类习惯以双脚为支点保持高重心姿态的平衡，难以适应这种改变，当马快速奔跑时，很容易从马背上摔下来；格斗的时候亦不能自如地劈杀闪躲。有了马镫，士兵可以迅速地把在地面上练就的本领移植到马背上，以双脚为左右支点自如地应对一切挑战，使步兵的技艺和马匹的速度完美结合。由于有了马镫，骑兵从此可以发挥更加强大的威力。公元13世纪，蒙古人席卷欧洲，马镫起了巨大作用。有了马镫，中世纪欧洲的骑士才能演绎出那许多叱咤风云的故事。

经过近千年的摸索，大约在公元3世纪，中国人发明了现代意义上的瓷器。从此，瓷器替代了人们餐桌上粗陋的陶器，使人类不仅有了清洁的餐具，提高了健康水平，还增添了审美乐趣，使不可或缺的生活用品同时成为艺术品。

瓷器抹去了石器时代留下的最后一道痕迹，有的学者把人类使用瓷器看做文明进步的重要标志。

瓷器是在陶器的基础上发展起来的。早在1万年以前，地球上不同地方的人们先后发明了烧制陶器的技术。人们利用岩石风化形成的黏土，经过成型和焙烧做成器物。焙烧时，高温使黏土中的某些物质熔化，填充黏土颗粒空隙并把它们紧紧固结在一起，有些像大自然造就岩石的过程。然而，窑炉的温度无法与地下岩浆的高温相比，烧制的器皿密实度不够，总不尽如人意。为了保证必需的强度，器皿往往粗大笨重，使用不方便；加之器壁吸水率高，陶制器皿表面粗糙，容易残留食物，霉变滋生病菌。在数千年里，陶器烧制技术的进展十分缓慢。

从商代开始，古代中国人不断改进制陶技术，到东汉末年，中国已出现技术成熟的瓷器。通过艰难摸索产生的这项发明，其关键技术主要是以下三点：

第一，选用瓷土作原料，不再使用普通黏土。瓷土是长石充分分解风化的产物，主



► 耀州窑青釉提梁倒灌壶，没有壶盖和上口，从底部注水，构思奇特。高18.3厘米，宋代，陕西省西安市出土（存陕西省博物馆）

要成分是三氧化二铝和二氧化硅，同时含有钾、钠和钙的氧化物，而铁和钛的氧化物含量很少，烧成的器皿洁白细密。

第二，烧结温度高。在公元前6世纪，中国人已经发明使炉温达到1300摄氏度以上的燃烧控制技术。在1200摄氏度以上的瓷窑里，瓷土中的氧化钙、氧化钾、氧化钠和二氧化硅，能够形成大量熔化的玻璃状透明物质，填满坯料中瓷土颗粒间隙，形成半透明的牢固烧结体。瓷器的吸水率极低，比陶器具有更高的结构强度。薄壁瓷器可以达到厚壁陶器的承载强度与承受撞击的能力，大大减轻了器皿的重量。

第三，为坚固的瓷坯穿上一件透明的外衣。瓷器表面薄薄的釉，紧紧地附着在瓷坯表面，几乎不改变器物的结构和造型，使本来已经十分致密的瓷质变得更加光滑美丽，具有极好的手感和视觉效果，而且使器皿便于洗涤保持清洁；许多种瓷釉具有极高的化学稳定性，不会与食物发生化学反应。

瓷釉是一种像玻璃一样透明的物质，可以保护描绘在瓷坯上的美丽图案；瓷坯就像一张洁白的纸，任凭艺术家挥洒画笔抒发灵感，烧结的釉则使艺术家的作品永远鲜亮如初。

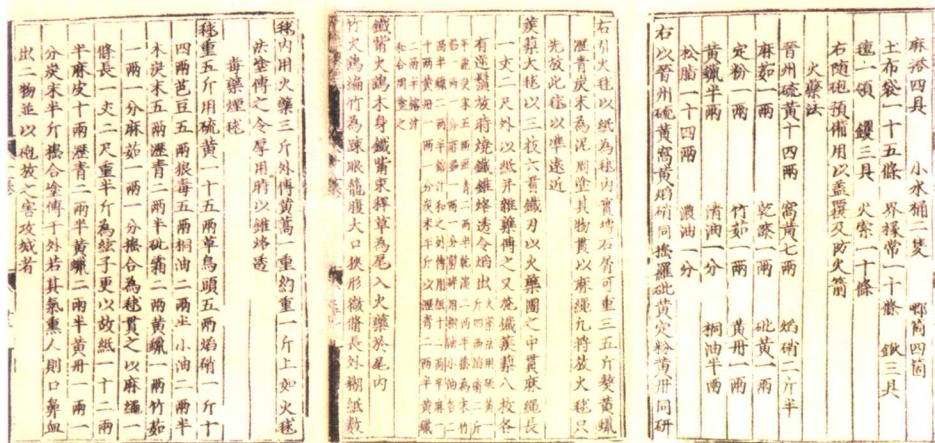
通过控制窑炉的燃烧气氛，古代中国发明家还能够使釉中的同一种颜料烧成之后呈现不同色彩。例如，釉料含有铜的氧化物，在窑炉缺氧环境中燃烧，大量一氧化碳会使它变成氧化亚铜，一价铜离子呈红色，烧出的是穿红“衣服”的瓷器；当氧气供应充分的时候，铜的氧化物不会被还原，釉料中的二价铜离子呈美丽的蓝绿色；如果交替变化炉中的气氛，瓷器的表面就会出现红蓝相间的梦幻色彩。由于这种气氛变化的过程在时间和空间上难以重复，炉窑中出来的瓷器就会每件都不一样，个个与众不同。鉴赏家把这种奇妙的工艺过程称为“窑变”，由于它们独特的唯一性，有些“窑变”瓷器往往成为稀世珍品。

技术和艺术共同造就了神奇的瓷器。随着时代的变迁，从前人们使用的器物今天大多已不见踪影，唯有瓷器例外。中国独占这项发明持续1500年，直到公元18世纪，欧洲人才开始制造瓷器。

瓷器同时具有实用性和观赏性，加之其神秘奥妙的制作工艺，古代海外的人们难以仿制。在相当长的



► 粉彩描金堆贴蟠螭纹瓶，以淡青釉为地，金粉描绘花卉图案，腹部堆塑四条动态各异的神秘动物，这件艺术品汇集了陶瓷技术的多项发明。高29.5厘米，清乾隆时期（存故宫博物院）



▲曾公亮编纂《武经总要》中记载北宋火药的三种配方

时期里，瓷器和丝绸一道成为古代中国的形象大使，成为海外诸国青睐的珍品。

公元7世纪，中国人发明了火药。从此，这种会冒烟的“药”打破了世界的宁静。

唐代著名医学家孙思邈（581—682）所著《丹经》论述“伏硫磺法”的篇章，已有类似火药秘方的记载。公元850年成书的道教经典总集《道藏》中的《真元妙道要略》篇，记载了原始火药的第一个配方。这一配方列举了35种丹药，注明其中三种可以燃烧，并告诫道士要慎之又慎，以免败坏声誉。这三种配方主要含硫磺、硝石和蜂蜜（今天，人们知道蜂蜜中含有大量的碳）。

公元919年，火药用于制造导火线，点燃油料喷向敌军，可以造成一片火海。公元1044年，北宋丞相曾公亮（999—1078）受仁宗皇帝之命主编《武经总要》，第一次发表了火药的真正配方。当时，这已是实战方：火药被制成炸弹、燃烧弹和毒气弹。在毒气弹里，火药混合了大量的砷化物，砷化物遇高温分解弥散在空气中，成为人类最早的强力化学武器。

火药的发明源于人们对“长生不老”的期盼。早在汉代，道家已经开始炼丹活动。他们笃信，如果能在自然界找到某些神秘的物质，把它们调配在一起，或者让它们在高温中融合，能够变成黄金或令人青春永驻的仙丹。与西方古代炼金家不同，古代中国的炼丹家更关注后者。或许由于当时中国实行中央集权，统治者能够用政治军事手段攫取财富，然而无法让自己永生，炼丹活动便更容易得到当权者支持。炼丹家可以广泛地采选各种奇特的原料，自由地进行各种试验。硝

公元7世纪，中国人发明了火药。从此，这种会冒烟的“药”，打破了世界的宁静。

发明火药为人类飞向太空准备了最重要的推进技术。

石、硫磺和木炭就在这种背景下进入炼丹者视野。

硝石具有能熔化多种矿石的特性，而且在温度不高的状态下能由结晶体变为液体，有时还能治疗某些疾病；硫磺在自然界中能以元素状态存在，加热时会由固体直接变成气体，冷却之后在另外的地方又以固体状态重新出现（这种现象今天称之为“升华”），炼丹家视其具有神秘的“游走”习性；木炭则被古代中国人认为是火与木相遇留下的精华，色泽和形状可历千年不变。炼丹的道士把这三者调配在一起，希望在炉里加热的时候出现奇迹。奇迹终于发生了，但不如预想的那样美妙：常温条件下它们不发生任何化学反应，而当炉温升高到一定程度，便突然火光冲天，炼丹的道士闪躲不及，被烧掉胡须和眉毛。从此，这种特殊的丹药被称为火药。

在火药中，硝石的化学成分是硝酸钾，受热能分解产生大量的氧；硫磺在常温下化学性质稳定，在250摄氏度时可以燃烧释放热量，使温度迅速升高达到木炭的燃点；木炭与硝酸钾分解产生的氧一旦发生化学反应，就会释放更多热量，使更多的硝酸钾分解，氧化反应会更加剧烈。这种化学反应在狭小的空间进行，无须从空气中补给燃烧所需要的氧。星星之火一旦点燃火药，瞬间产生极高的温度，释放大量气体产生巨大压力。这种力量可以顶替千万人的体力劳动，可以推动山岳填平沟壑，也可以成为新式杀伤武器。

如果火药产生的爆炸力只能在一个预定的方向释放，它可以推动物体高速运动成为子弹；如果火药在一个坚实的密封壳体中燃烧而无释放压力的途径，当压力增大到超过壳体极限强度时，就会发生爆炸，发出令人恐怖的巨响，产生巨大的冲击波，同时把壳体炸成碎片，在空中成为无数飞刀，令敌方猝不及防，这就是今天所说的炸弹；如果把火药装填在后端开口的圆筒里，点火燃烧之后产生的高温气体向后面喷射，在反作用力推进下，圆筒壳体高速飞向前方攻击敌人。这种喷火自动飞行的箭体被称为火箭，它为1000年之后人类飞向太空准备了最重要的推进技术。

火药提供了一种能够在时间上加以控制的巨大冲击爆发力，这种前所未有的力量可以破坏许多物体原有结构，瞬间改变其空间位置。火药的发明，对人类来说忧甚至大于喜。

火药迅速导致战争武器的变革。用火药做成的兵器可以远距离杀伤敌人，具有人体感官难以察觉的攻击速度，具有普通建筑物难以抗御的破坏力。在战场上，交战双方从此拉开空间距离，呼啸的炸弹从天而降发生爆炸，取代了

公元7世纪，中国人发明了雕版印刷技术。从此，人类开始以制造物质产品的方式复制文化产品。

冷兵器时代的刀光剑影，坚固的城堡已不再能阻挡敌方进攻。在古代战场上，使用火药兵器的一方往往具有绝对优势，这种胜利的诱惑，促使人们探寻更加猛烈的爆炸物，其结果是使人类的安全受到越来越严重的威胁。

公元13世纪，火药随蒙古人西征传到阿拉伯世界，后来经阿拉伯人传到欧洲，与西方的机械制造技术结合，成为新兴资产阶级攻陷城堡战胜封建贵族、征服海外殖民地的强大武器。中国人这件阴差阳错的发明，在相当大的程度上改变了世界历史的进程。

公元7世纪，中国人发明了雕版印刷技术。这是一种不需要人手抄写，借助工具和机器可以大批量复制文书图画的方法。它大大地提高了人类文化知识传播的速度，使更多的人有机会分享人类的智慧与经验。从此，人类开始以制造物质产品的方式复制文化产品。

雕版印刷始于隋代。人们在致密坚硬的枣木板上镌刻文卷篇章，需刻出凸起的反字，将墨汁刷在上面，用纸覆盖并轻轻平压，植物纤维的亲水性会使文字上的墨迹迅速渗入纸中，揭下纸晾干，雕版印刷即告完成。雕版印刷的效率是用手抄写的数百倍。

公元704—750年间，中国人用雕版技术印制了一大批汉字佛经。其中一些现存于韩国东南部庆州佛光寺，是世界上现存最早的印刷文本。

公元8世纪，印刷品已经多得令人难以置信。雕版印刷技术传到日本之后，有一件佛经的摹本，曾经一次印刷了100万份。

公元868年，中国印制梵文汉译佛教典籍《金刚经》，印成的长卷宽0.27米，长5.3米，这是人类以长卷形式印制的第一部书。1907年，这件珍贵的经卷被英国人斯坦因从敦煌窃走，现藏英国伦敦大英博物馆。公元983年，中国人用12年时间印成的

佛教经典《大藏经》，计1076部5040卷，共用雕版13万块。当时，中国已是世界上复制文献资料最多的国家，而欧洲直到公元1423年才出



◀ 雕版印本《金刚经》首卷插图，此印本是世界上最早印制的书，印于公元868年，1900年在甘肃敦煌千佛洞发现（存伦敦大英博物馆）



▲ 公元1287年中国发行的纸币

现雕版印刷品。

几乎与此同时，古代中国人用雕版印出一种前所未有的纸币，代替金属制成的货币。纸币上印有特殊的符号和文字，加盖标志权力的印章。这种纸币非常轻，甚至能被风吹跑，人们称之为“飞钱”。当时，这件极富想象力的发明效果不佳，人们不信任它，以致造成通货膨胀，直到宋代，它才为人们所接受。西方在17世纪才开始使用纸币。公元1661年，瑞典银行首次发行纸币。

纸币是一件十分了不起的创造，它预示人类金融活动方式将发生巨大变革。有了纸币，人们在商业活动往返途中不必辛苦地携带笨重的金属钱币袋子。纸币的使用，大大减少

了金属用于铸币的消耗，加速了货币现代化进程。

发明雕版印刷技术300年之后，中国人发明了活字印刷技术。这项发明在几个世纪之后引起世界印刷技术的巨大变革。公元1041年，毕昇用分离的汉字字模，拼装组合成印版，印刷文卷。这些分离的字模，每个上面只一个字，就像印章一样，它们以不同的方式排列组合，就能印出不同的文章。

活字模的出现，最早是用于挖补刻错或字体损坏的雕版，后来才产生了活字印刷的构想。

在北宋学者沈括（1031—1095）所著《梦溪笔谈》中，有关于毕昇发明活字印刷的记载。书中记载，毕昇用胶泥做成薄薄的字模，用火烧硬之后，可以反复使用。他用活字模拼装印版时，先在一块铁板上放一个铁制的边框，里面放些松香、石蜡和纸灰，加热调匀，平铺在框内的铁板上，然后再放上泥活字模压平（在加压的时候，很容易保证泥活字端面平整）。冷却之后，泥活字紧紧固结在铁板上，遇水不



► 济南《刘家功夫针铺》模铸铜版和印好的广告，长12.4厘米，宽13.2厘米，北宋（存中国国家博物馆）

再松散脱落。需要重新排版时，加热铁板，松香、石蜡软化，取下活字模重新排列组合。在《梦溪笔谈》中，沈括曾写到毕昇按照不同的汉字在文卷中出现次数的多少，制作不同数量的活字泥模，毕昇曾经为有些常用字做了20多个同样的泥模。

由于汉字中不同的字多达数万，活字印刷技术在中国古代并没有发挥重要的作用。直到19世纪末，中国清代的主流印刷技术仍然使用雕版印刷。现存于北京故宫博物院的明清典籍文卷，以及流传在民间的19世纪以前大量的书籍，大部分是用雕版印刷的。

对于使用拉丁字母的文字来说，活字印刷技术使图书文献的印刷过程变得十分简单。因为在这种文字体系中，印刷书籍所需要的字模种类非常少，只有26种，拣字排版非常方便。活字印刷技术辗转传播到欧洲以后，迅速地使欧洲跨越雕版印刷阶段（雕版印刷只在欧洲很小范围使用了很短时间），开始大量印刷书籍，促进了文化的传播和知识的普及，为欧洲文艺复兴提供了极其重要的思想条件。

差不多与此同时，中国人发明了桥梁史上最早的生物固基技术，利用海洋生物独有的生态特征，建造了许多跨江、跨海的大桥。其中，在福建省泉州市的洛阳江入海口建造的跨海石梁大桥宽5米，长1000米。这座气势恢弘的大桥已有950年历史，至今人们还在上面行走。

在江海交汇处建桥面临巨大的困难，海涛汹涌，水深流急，桥基和桥墩很容易被冲垮，古代中国人想出了一个极聪明的办法。建造这座桥的时候，人们首先沿设计中的大桥中心线，向水中抛掷巨大的石块，垫成宽25米的一道水下筏形台基，在石块缝隙中投入大量牡蛎任其繁殖。这种带壳的软体动物生长迅速，它们的石灰质外壳没有固定的

活字印刷技术辗转传播到欧洲以后，欧洲人开始大量印刷书籍，为欧洲文艺复兴提供了极其重要的思想条件。

形状，在生长过程中逐渐充满石块之间的空隙，牡蛎分泌的黏液使它们与石块紧紧地黏结在一起，将分离的石块结成一道稳固的刚性基础。在这道长长的筏形水下基础上，人们用巨大的石条砌成128个分离的桥墩，用同样的办法，使牡蛎把石条和桥基黏结成整体。随着时间的推移和牡蛎生生不息



▲ 北宋时期使用的支票（拓片），当时称为“交子”（存辽宁省博物馆）

的繁殖，桥基和桥墩变得更加结实。这座桥在每两个桥墩之间并排铺设5根石梁，每根石梁长8米，宽1米，厚0.7米，重达20吨~30吨。在海水涨潮时，人们用船把硕大的石梁运到桥墩之间，落潮时石梁自然平稳地架在桥墩上。世界上所有的大桥，都会随时光流逝而不堪重负，只有这种特殊的桥例外，会变得越来越牢固。

这座伟岸的大桥令古人心潮澎湃，清代画家王翬（huī）赞美这座桥“跨海飞梁叠石成，晓风十里渡瑶琼。”明代学者徐勃的诗句更加传神：“潮来直涌千寻雪，日落斜横百丈虹。”在北宋到南宋的300多年间，人们在福建泉州港附近建造了300多座这样的桥，有的长达8000米，桥孔多达770个。

至迟不晚于公元13世纪，中国人发明了保障远洋船舶行驶安全和减少颠簸的技术，创造出水密隔舱和低重心流体减震装置。采用这种技术建造的船舶，在大海上航行，即使不幸触礁或被鲸撞出大洞也不会沉没，且在波涛汹涌的海上能够保持船体平稳，不会随风波剧烈摆动。这两项发明，已经成为现代大型船舶设计的经典技术。

公元1974年8月，考古学家在福建泉州后渚港的滩涂发掘出一条宋代沉船。从船舱里发现的物品判断，这艘船沉没的时间大约是公元1276年秋季，它刚从东南亚返航归来。这条船残长24.4米，残宽9.15米，船体横截面像一个巨大的V字形，是一艘三桅远洋货船。人们推算它当年的排水量为400吨，载重量200吨。全船有12道隔舱板，与船壳连成一个整体，将船体分为13个互不透水的舱室。即使某个舱室破损，涌入的海水被限制在这个小舱内，

不会危及船的整体安全。这种结构同时极大地提高了船体抗冲击能力，能够用最少的材料获得最大的牢固性。

人们发现，这条船在每个舱室底部都有一个带盖的小孔，船舶技术专家称之为“水眼”。航行中，雨水或溅落在船上的



▲ 利用生物固基技术建造的福建泉州洛阳江桥，这座桥今天仍在使用，长1000米，宽5米，建于公元1059年

►宋代泉州水密隔舱海船（模型），原船于福州泉州后渚港出土，建造于公元1276年前（实物存福建省泉州市海上交通博物馆）



浪花，可以通过“水眼”流入船底一个连通的夹层舱室，夹舱中的水降低了船体重心，使船行驶更加稳定。由于夹舱中水的惯性和内摩擦，会部分抵消由于风浪产生的船体起伏晃

动。一个有趣的实验能帮助人们理解这种设计的科学道理：如果要区分生鸡蛋和熟鸡蛋，就让他们在桌面上转动，转个不停的是熟鸡蛋，迅速停止的是生鸡蛋。因为生鸡蛋中流动的蛋白和蛋壳发生相对运动，摩擦力消耗了转动的能量。

从唐代后期到元代，逐渐形成了一条从中国东南沿海港口城市到阿拉伯世界之间的海上贸易通道，被历史学家誉为“海上丝绸之路”。众多的中国古代发明，保障了这条通道的安全，直到公元15世纪初，郑和率领庞大的船队七下西洋，这些发明一直起着重要作用。

不可胜数的中国古代发明，为绵延数千年的中华文明奠定了坚实的基础，对人类文明的进程产生了深远的影响，它们已经深深嵌入历史长卷，成为人类文明最珍贵的一部分。■

六 从中世纪到文艺复兴

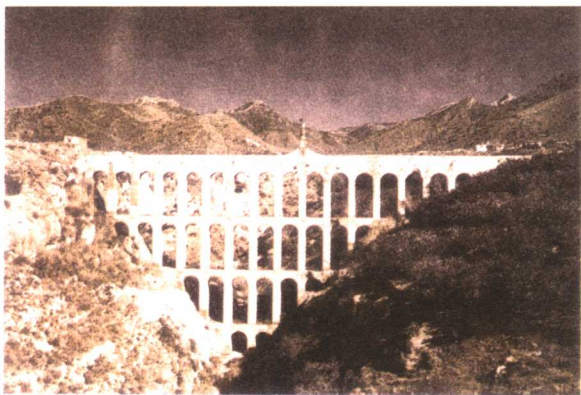
.....

由于完全不同的原因，源于古希腊、中国、印度的智慧逐渐汇集在阿拉伯世界，后来辗转到达欧洲，经过千年酝酿，导致欧洲思想史发生巨变，这种变化最终影响到人类活动的一切方面。

从公元前264年起，经过233年征战，古罗马人相继占领了西班牙、地中海南岸国家、希腊本土、叙利亚和埃及，建立了古罗马帝国。昔日充满生机的多元文化，被笼罩在强大帝国的阴霾之中。

古罗马十分重视与军事和城市建设相关的工程技术，充分利用他们所发明的混凝土大量修筑道路，在帝国广阔的疆土上建成四通八达的交通网，使主要公路总长度达到8万千米。直到今天，西方仍喜欢用“条条道路通罗马”这样的谚语，寓意“总有办法达到目的”。古罗马人修建了宏大的引水工程，曾经用9条水道把清洁的水引入罗马城，水道总长度达到90千米。这些水道穿山越岭，在低凹地带则由渡槽贯通，有的渡槽高达60多米。

古罗马人在罗马城内修筑的巨大神殿高42.7米，穹顶内部直径43.5米，神殿宽阔的大厅面积超过1500平方米。大厅没有柱子，在内墙壁龛上供奉多种多样的神。穹顶上有一个直径8.7米的天窗，每天不同的时刻，变幻的阳光在神殿中渲染出强烈的宗教氛围。古罗马人还在罗马城内修建了长径188米、短径156米的椭圆形斗兽场，观众席共有4层，可容纳8万名观众。古罗马贵族经常在数万观众疯狂的呐喊声中，观看



▲古罗马帝国在西班牙布尔热地区修建的高架水渠

奴隶用刀剑相互搏杀或人和狮子格斗的血腥场面。这座斗兽场落成时，曾连续举行100天这样的表演。

大约公元前200年，古罗马人利用维苏威火山喷出的火山灰，混合生石灰、沙和碎石，加水搅拌，成为可以随意赋形且固化后具有极高强度的建筑材料。火山灰中含大量氧化铝，还有硅和

铁等元素；在水的参与下，它们与生石灰中的氧化钙发生化学反应，生成一种特殊的硅酸盐，性能类似今天的水泥。这种材料既防水又能把建筑构件牢固地黏结成整体，许多巨型建筑拔地而起。由于使用混凝土，2000年前的许多古罗马建筑得以保存至今。面对它们，人们能够想象当年罗马人的壮举和残忍的罪恶娱乐。

罗马人热衷建筑，关心工艺技术的改进，然而缺乏古希腊人的理性精神，没有探究自然的激情，他们把古希腊创立的学术传统视为无用的清谈。公元前47年，古罗马两大军事首领恺撒和庞培之间发生战争，拥有70万卷藏书的亚历山大城图书馆被战火焚毁。罗马人无动于衷，不救火也不惋惜。当年希腊时期的众多学术中心所在地，相继成为古罗马帝国的海外行省，极其“务实”的罗马人不再支持昔日的学术中心，学者云集的学术殿堂惨淡经营几个世纪之后，终于销声匿迹。

公元380年，罗马皇帝狄奥多西一世宣布基督教为帝国唯一合法的信仰。当时的主教对希腊哲学与科学怀有极大的恐惧与猜忌，仇视探究自然与人文的学术活动，亚历山大图书馆的一个分馆在公元390年被主教烧毁。古希腊哲学与自然科学在欧洲和地中海周围广大地区已经没有栖身之处。

公元395年，统治欧洲达6个世纪的罗马帝国解体，分裂为东、西罗马帝国。西罗马帝国名存实亡。东罗马帝国建都君士坦丁堡，称为拜占庭帝国，它的通用语言是希腊语，帝国版图基本上就是原来的希腊化世界。皈依基督教的拜占庭帝国，对希腊化世界的学术活动和学者充满敌意。

公元5世纪，欧洲进入漫长的中世纪，基督教教会主宰着精神和政治，敌视一切求真的学问，反对一切自己不能理解和不能控制的思想与行为。学校只讲授《圣经》和

阿拉伯帝国对不同背景的学术研究采取了十分宽容的态度，以极高的兴趣审视古希腊的哲学和科学，以开放的心态接纳印度的天文学和数学，并应用了中国众多的技术发明。

神学，用神学替代一切知识，把神的意志视作宇宙法则。一位神父曾经说：“讨论地球的性质与位置，并不能帮助我们实现对于来世所怀的希望。”思想精神的桎梏摧残欧洲的文化、科学和经济，欧洲历史上这段最黑暗的时期，大约经历了1000年。

公元7世纪初，穆罕默德（570—632）创立了阿拉伯帝国。他死后不到30年时间，阿拉伯帝国先后占领了波斯、叙利亚、巴勒斯坦和埃及。到公元750年，整个北非、西班牙和印度西北部都已在阿拉伯帝国控制之下。当时的阿拉伯帝国对不同背景的学术研究采取了十分宽容的态度，以极高的兴趣审视古希腊哲学和科学，以开放的心态接纳印度的天文学和数学，并应用了中国众多的技术发明。

公元8世纪下半叶，阿拉伯帝国的统治者把翻译古希腊典籍视作重要的文化事业。君王亲自致书拜占庭皇帝，请求协助阿拉伯学者在君士坦丁堡搜寻希腊古籍。公元828年，阿拉伯帝国在当时的首都巴格达建立了一个综合性学术机构，包括研究所、图书馆和翻译馆，开始了科学史上第一次大翻译活动，将古希腊典籍翻译成阿拉伯文字。这场

▼ 古罗马帝国在叙利亚境内修建的大道，当时叙利亚是古罗马帝国的东方省，在这条大道上行军的速度达到每天320千米，称得上2000年前的高速公路





▲ 古罗马人用以夹持金属锻件的工具，巧妙的是，只在一侧柄上有可以滚动的轮子，有了这个滚动的支点，既省力又能够方便地移动工件位置。长40.7厘米，宽6厘米，公元1世纪，庞贝遗址出土（存那不勒斯国家考古博物馆）

规模空前的翻译运动持续了两个世纪。到公元1000年，许多重要的古希腊哲学和科学文献，都有了阿拉伯文译本。

与此同时，阿拉伯人通过波斯汲取印度的数学智慧。印度学者在代数、三角和天文计算方面的成果，以及它们创造的数字系统，特别是包含“零”在内的计数符号，构成了阿拉伯数学的重要部分。公元9世纪，数学家把印度数字引进了阿拉伯，不久，阿拉伯帝国的统治者宣布，把印度人发明的计数符号作为帝国法定的计数符号，以至于今天的人们都习惯于把它们称做“阿拉伯数字”。这种数字系统包括从0~9的10个计数符号，采用10进位制，每个计数符号在不同的位置上表示不同的量值，这是迄今人类使用的最方便最先进的计数系统。

在使用这种数字的时候，阿拉伯人表现出很高的技巧。1957年，人们在中国陕西省西安市火车站东北3千米处元代安西王府遗址，出土了5块神秘的方铁板，每块铁板上有36个方格，每个方格中填有一组阿拉伯数字，铁板上每一行或每一列数字之和都相同，两条对角线上的数字之和也相同，它们都等于111，今人把它称做“6阶幻方”。看到这些“幻方”，人们有可能感到自己的数学智慧不足以与当时的阿拉伯数学家较量。



安西王府是中国元朝第一个皇帝忽必烈第三个儿子忙哥剌的住宅，“幻方”铁板就埋在当年王府的基础之中。人们推测，这些铁板是当年蒙古人西征时从阿拉伯世界带回来的，它们成为今天了解13世纪以前阿拉伯世界数学的珍贵实物资料。从这些铁板上的符号可以看到，当时的数字0、1和9已经与今天一样，只有

◀ 可以调节流量的金属输水管道阀门，高24厘米，长30.4厘米，最大直径11.3厘米，公元1-2世纪，意大利拉齐奥地区出土（存那不勒斯国家考古博物馆）



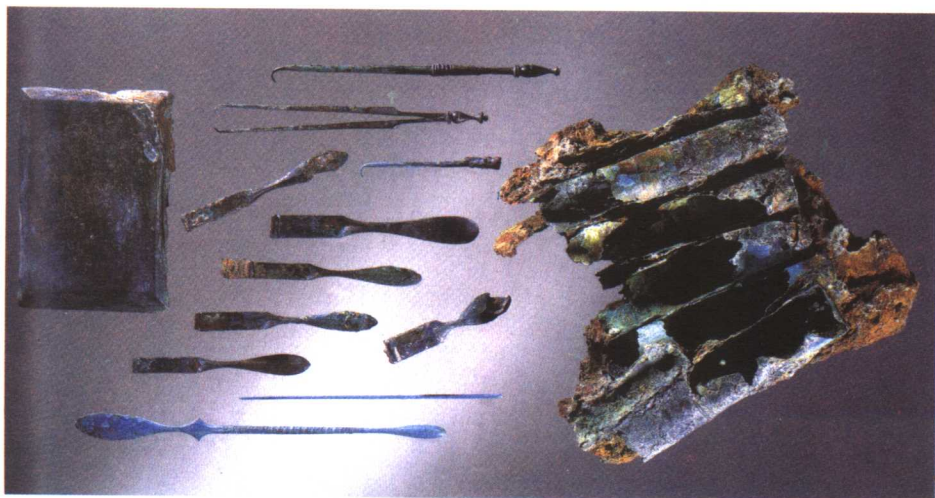
▲《几何原本》的阿拉伯文译稿

2和3旋转了90度，并且有个长尾巴，其他的数字则与今天完全不同。

公元814年，生活在今天乌兹别克斯坦的阿拉伯数学家花刺子模（约780 - 850），对代数的发展也作出过重要贡献。他在一部名为《还原与对消》的著作中讲述解方程的方法，书中有800多个代数问题，还讲述了二次方程求根的问题。代数的发展，为人们理解自然界各种因素之间的定量关系提供了十分重要的思维工具。今天西方世界所使用的“代数”一词，就来自这本书的书名。阿拉伯天文学家还丰富和发展了三角函数计算方法，编制了详细的三角函数表，用于航海星盘计算，使人们能够更加简便准确地借助天文观测，确定大海中船只的位置。

阿拉伯帝国兴盛之时，正值中国大唐盛世，通过“丝绸之路”频繁的交流 and 交往，中国人创造的许多技术相继进入阿拉伯世

▼ 庞贝出土的一套青铜外科手术器械，左边是磨刀石板，右边是保护器械的套筒。公元79年，维苏威火山喷发时，它们与罹难的外科医生一同被埋在火山灰下（存意大利庞贝考古管理局）



东方的哲学、艺术、科学和技术辗转传播，犹如一道明亮的霞光穿透灰暗的天空，闪现在死寂的中世纪欧洲。人们以惊奇的目光打量这些新的观念和事物，以自己的方式理解它们，怀着不同的目的选择、接纳和应用它们，并力图加以创新。

度和阿拉伯世界的科学技术大量进入欧洲。

公元11世纪至12世纪，阿拉伯世界的学术中心转移到由穆斯林统治的西班牙。12世纪，欧洲基督教徒攻陷西班牙绝大部分地区，阿拉伯人建立的一些学术中心相继落入欧洲人手中，科学史上第二次大翻译活动随即开始。

参加翻译的人来自西欧不同地区，他们主要是把已经译成阿拉伯文的古希腊典籍译成拉丁文（拉丁文是古罗马使用的官方文字），有些往往是经过希伯来文和西班牙文转译的。当时，翻译的数量非常大，仅欧洲学者热拉尔（1114—1187）一人就翻译了90多部著作，其中包括古希腊时期哲学家亚里士多德的《物理学》，希腊化时期天文学家托勒密的《天文学大成》和盖伦（129—199）的《医术》。另一位欧洲学者威廉把49部古希腊典籍直接译成拉丁文，其中包括亚里士多德所有的哲学和科学著作，还有阿基米德的大量著作。

先后两次大翻译运动，使西欧系统地获得了古希腊的知识。这些知识绕了一个大弯，从欧洲东部的希腊出发南下，逐渐沿地中海南岸向西移动，从北非通过直布罗陀海峡北上西班牙，到达欧洲中西部。

差不多与此同时，东方的哲学、艺术、科学和技术辗转传播，犹如一道明亮的霞光穿透灰暗的天空，闪现在死寂的中世纪欧洲。人们以惊奇的目光打量这些新的观念和事物，以自己的方式理解它们，怀着不同的目的选择、接纳和应用它们，并力图加以创新。欧洲人麻木的心灵开始复苏，僵化的社会开始动荡，一些欧洲知

界。不久，阿拉伯人学会了造纸，把中国的指南针用于航海，还为航行在地中海的大船安装了中国人发明的舵。随着阿拉伯世界与欧洲之间的贸易和时断时续的战争，尤其是在公元1096—1291年间发生的十字军东征之战，使中国、印



▲《希腊药典》的阿拉伯文译本

识分子开始重新思考人类自身的问题，以新的眼光审视哲学、艺术和科学。

欧洲人首先选中来自东方的技术。中国人发明的火药13世纪传入欧洲，此后欧洲人结合自己的机械制造技术，很快造出具有巨大杀伤力的新式武器。

1350年，欧洲人发明了世界上最早的手枪，当时叫做“手管”。它的造型十分具有欺骗性，外形看起来像一柄短剑或一把战斧，在格斗的时候会冷不防地从枪管中射出子弹置人于死地。但是，这种枪射击时无法瞄准，必须一只手握枪，另一只手点燃枪膛中的火药。1411年，德国人发明了有扳机的枪，扳机上绕着一条缓慢燃烧的引火绳。射击的时候，扣动扳机，引火绳与火药迅速接触，引燃火药射出子弹。射手可以双手持枪，精确瞄准。1520年，欧洲人去掉缓慢燃烧的引火绳，利用镶嵌在扳机上的粗糙的铁块，猛烈撞击小块硫化铁矿石，产生火花点燃火药，无需点火的“火枪”从此发明出来。这种枪可以随时射击，阴雨天也能使用，已经具备现代枪械的主要特征。

欧洲的轻武器日渐灵巧，重武器威力也迅速增大。1377年，欧洲人在阿姆斯特丹造出一门巨型铁炮，用150千克重的石块当炮弹。1413年，欧洲铸造出重9000千克的铁炮，每次装10千克火药，石霰弹重300千克。1475年，欧洲制造炮的技术已有很大发展，大炮装在轮式炮架上，可以调整角度，出现移动野炮，有的还带瞄准镜。1500年，欧洲出现钻制炮管的钻床，能够批量生产大炮。

1528年，法国发明手榴弹，将炮弹的爆炸力和人的灵活机动结合在一起，可以近距离攻击，摧毁隐蔽的防御工事，给敌方造成重大人员伤亡。手榴弹最早用于当时法国和西班牙之间的战争。在不到200年的时间里，欧洲枪炮制造技术已经具备取代冷兵器的条件，为发生在欧洲战争和征服海

指南针和星盘出现之前，
在海上远航几近于进行挑战死亡的冒险。



▲ 哥伦布航海使用的那种三桅帆船

外殖民地准备了威力强大的武器。

中国人发明的指南针和经过阿拉伯人改进的实用星盘，有力地推进了欧洲的航海事业，帮助欧洲人迅速地扩大了海上的活动范围。人们根据星盘在船上观测到的标志性星座位置，可以推算自己的地理坐标；借助指南针可以在即使看不到星星和太阳的时候，正确把握船的航向。

指南针与星盘这两件发明对航海无比重要。海面是一个接近完美的球面，凸起的球形海面会阻断向远方遥望的视线，即使在风平浪静的日子，水手站在20米高的桅杆顶，最多也只能看到12千米远的地方。如果远离海岸陆地标志，航船就会迷失方向。指南针和星盘出现之前，在海上远航几近于进行挑战死亡的冒险。

1429年，葡萄牙人借助指南针和星盘离开本土向西远航，发现了距里斯本2000千米之外的亚速尔群岛；1460年发现了非洲西海岸附近的佛得角群岛；1470年发现了西非黄金海岸。1471年，葡萄牙航海家通过赤道，第一次到达南半球，这也是欧洲人首次到达那里；1487年，葡萄牙人从海上绕过非洲最南端的好望角到达印度洋。

1492年，葡萄牙航海家哥伦布受西班牙王室派遣，怀揣西班牙国王致中国皇帝的信函，率三艘帆船探寻从西方通往印度的航线，8月3日从西班牙帕罗斯港出发，于同年10月12日到达中美洲巴哈马群岛。在持续70天的航程中，哥伦布全凭指南针和星盘，在一

望无际的大西洋上确定航向。到1502年，哥伦布率船队四次横渡大西洋往返于美洲、欧洲之间，并且发现了中美洲大陆。他一直以为这就是印度，把遇到的当地人称为“印第安人”（意即印度人），这种叫法一直延续至今。

1502年，意大利航海家亚美利加·维斯普奇（1454—1512）第二次进行南美航行，在到达南纬25度之后，确认南美是一块单独的大陆而不是印度。由于这位航海家写过许多关于新大陆的考察报告，并且印刷出版广泛传播，哥伦布发现的新大陆便一直以后来的这位航海家名字命名，称为亚美利加，简称美洲。



▲ 公元13世纪埃及阿尤布王朝时期的星盘，航海时用于测量星体仰角，帮助水手确定纬度，星盘直径24.8厘米，黄铜制造，盘上刻有开罗和亚历山大城的纬度（存大英博物馆）

阿拉伯数字进入欧洲之后的400年间，与罗马数字进行了艰难的斗争，许多支持阿拉伯数字体系的学者被抄家并被判处死刑。

为避开阿拉伯人的海上阻挠，1497年，葡萄牙人达·伽马（1460—1524）率船队绕过非洲南端的好望角向东航行到达印度，开辟了从欧洲西端直达亚洲东南部的航线。19世纪，西方列强的炮舰沿着当年达·伽马行驶的航线侵犯中国海疆，打开了中国的大门。

1520年，葡萄牙航海家麦哲伦（1480—1521）离开欧洲向西航行，发现了南美大陆和火地岛之间的海峡。他穿过海峡继续向西航行，希望绕地球一周从东面回到出发的地方。航行中麦哲伦不幸在菲律宾遇难，后来这艘船由同伴驾驶完成了历时三年的环球航行，人类第一次通过亲身经历确认地球是一个球体。

公元13世纪以后，欧洲人开始使用中国的航海技术，航海活动使欧洲知识界对地球表面的了解迅速增加。此后200年间，欧洲人对海洋的水域了解增加了7.5倍。公元1000年时，欧洲人只了解地球表面8.1%的地方（其中了解15.2%的陆地，5.2%的水域）；1400年时了解地球表面的11.2%（其中了解21%的陆地，7%的水域）；1500年时了解地球表面的22%（其中了解25%的陆地，20.9%的水域）；1600年时了解地球表面49%（其中了解40%的陆地，52.5%的水域）。

借助东方的航海技术发明，欧洲进入地理大发现时代，被大洋分割的陆地日渐紧密地连接在一起，一些欧洲国家开始大规模掠夺海外殖民地。

公元12世纪，中国发明的造纸和印刷技术传入欧洲。当时欧洲信息闭塞，物资匮乏，贸易很少，简单零星的商业活动无须大量书写票据契约，为数不多的学校只机械地

▼ 六阶幻方铁板，陕西西安市郊出土（存陕西省博物馆）



28	4	3	31	35	10
36	18	21	24	35	10
7	23	12	17	22	30
8	13	26	19	16	19
5	20	15	14	25	32
7	33	34	6	2	9



▲ 古登堡印出的第一本《圣经》

重复背诵羊皮卷经文，欧洲人很少书写文字，对纸和印刷技术没有特别的需求。公元15世纪中期，欧洲出现了中产阶级，他们渴求知识，有富余的钱买书，有闲暇的时间读书。这时，造纸和印刷技术才引起欧洲人关注。

几乎完全越过雕版印刷阶段，欧洲人直接采用活字印刷技术创建其印刷技术体系，这可能是由于拉丁字母有一半以上是圆弧形，雕刻极为不便，然而拉丁字母只有26个，铸造活字需要的模具很少，用活字印刷远比制作雕版方便。

公元1445年，德国金匠古登堡（1400—1468）发明活字印刷机，并且建立了印刷所。他用铅锡合金做成拉丁字母的活字模，通过拣字排版组合成待印文章。印制时，将字模固紧在底盘上，在其表面刷一层薄薄的油墨（欧洲人在50年前更新绘画技术的时候已经发明了油墨），用压榨机通过长臂螺杆加力，使字模紧紧地贴压在平整的纸张上，油墨中的颜料微粒在表面张力作用下渗入纸的纤维内部，便留下经久不褪的印迹：在加压过程中，纸张表面与字模接触的部分发生轻微形变，油墨完全依据字模的造型转移到纸上，印出的文卷非常清晰。

古登堡的印刷机实际上是由四件此前已有的发明组合而成：1042年中国人毕昇发明的活字印刷技术；欧洲美术家发明的油墨；古希腊人发明的压榨机（过去一直用来榨橄榄油）；中国汉代发明的纸。缺少其中任何一件，印刷机都难以成功地使用。

古登堡采用铅锡合金制造活字模是非常聪明的选择，因为铅锡合金在空气中不易氧化，字模可以长期使用；铅锡合金熔点很低，在200摄氏度~300摄氏度之间即可熔化，铸造字模特

中世纪两次大翻译运动，使西欧系统地获得了古希腊的知识。这些知识绕了一个大弯，从欧洲东部的希腊出发南下，逐渐沿地中海南岸向西移动，从北非通过直布罗陀海峡北上西班牙，到达欧洲中西部。



▲ 15世纪后期欧洲的印刷机

别方便。这种合金材质柔韧，印刷时字模不容易划伤纸面。铅和锡在人类告别青铜时代之后已经很少使用，由于古登堡的这项发明，它们又重新进入人类事务之中，不过这次更换了角色，不是帮助人们制造工具和武器，而是帮助人们以前所未有的方式传播知识和信息。

印刷技术在欧洲传播得非常快。1445年古登堡首次在德国的美因兹印刷有关《末日审判》的诗歌。此后，1458年这种印刷术传到法国的斯特拉斯堡；1467年传到意大利罗马；1469年传到威尼斯；1470年传到法国的巴黎；1476年传到英国的伦敦；1482年传到奥地利的维也纳；30年间覆盖了欧洲大部分重要

地区。公元1445—1500年，欧洲先后建起1000多个印刷所，出版了3.5万余种印刷品，发行量1000万份。1492年哥伦布发现美洲的消息，就是通过古登堡发明的印刷机为广大欧洲民众所知的。

印刷机在欧洲最早印的书是《圣经》，不久印刷出版了古希腊、古罗马的文学译著，于1469年开始印刷科技图书。1453年，奥斯曼帝国攻陷君士坦丁堡，拜占庭的学者带着古希腊以来的珍贵典籍手稿，逃到欧洲的中西部。很快，这些手稿的拉丁文译本变成了印刷品，由此人们有机会见到这些没有经过阿拉伯世界转译的珍贵文献。

印刷机的大量采用，使欧洲书籍成本骤降，价格昂贵的羊皮抄本转眼之间即被普通人能够买得起的廉价书籍代替。印刷机加速了新思想和科学技术的传播，促进了教育平民化进程，对推动欧洲宗教改革和文艺复兴起到了巨大的作用。不幸的是，古登堡在发明的过程中债务缠身，只得把印刷所抵押给债主，而他却在贫病中死去，他发明的印刷机从来没有印过他的名字。

公元11世纪，阿拉伯数字经西班牙进入欧洲。当时，欧洲人使用的罗马数字体系十分落后，尽管这样，阿拉伯数字系统在欧洲还是遭遇了顽强的抵制。

罗马数字体系大约发明于公元前750年，如下符号：

今天，阿拉伯数字已经成为全世界公共文化的一部分，只有在钟表盘或纪念碑上，人们才能偶尔见到罗马数字的踪影。



▲ 描绘中世纪大学上课情景的版画

I、V、X、L、C、D和M，分别表示1、5、10、50、100、500和1000；为了表示更大的数，I分别放在V或X的左右两旁，表示减去或加上它们以后的数；人们在这些符号上方画一横道表示乘

1000，画两横道表示乘两次1000；罗马数字没有“零”，运算的时候不能进位，不能做除法，即使十分简单的运算，也极为困难。

阿拉伯数字进入欧洲之后的400年间，与罗马数字进行了艰难的斗争，许多支持阿拉伯数字系统的学者被抄家并被判处死刑。直到15世纪以后，阿拉伯数字系统才在欧洲站住脚，并逐渐取代罗马数字体系。1489年，在维德曼的算术书里，第一次正式出现了今天使用的阿拉伯数字符号。然而直到1710年，英国学者斯威夫特写的一本书，仍用罗马数字MDCCX标明年份。

阿拉伯数字体系提高了欧洲人的数学计算能力，为其工程技术和科学探索活动提供了必需的基础数学工具。今天，阿拉伯数字已经成为全世界公共文化的一部分，只有在钟表盘或纪念碑上，人们才能偶尔见到罗马数字的踪影。

古希腊哲学、艺术和科学进入欧洲后，促使教育产生了微妙变化。面对潮水般涌来的新知识和日渐活跃的商贸交流，昔日附属在修道院的那些规模极小的学校，已经不能满足社会需求。公元11世纪，欧洲出现了世界上最早大学，这些大学并非由政府的主管部门批准建立，而是自发形成的。

1088年，在意大利工商业发达的城市博洛尼亚出现了第一所世俗的大学——博洛尼亚大学。它是在法律、文学、医学三个专科学校合并的基础上形成的综合性大学，由学生组成委员会管理学校，他们聘用教师、支付薪水，而且可以解雇教学效果不好的教师。1160年，法国在巴黎圣母院教会学校的基础上创办了巴黎大学，教师取得了录用教学人员的权

大学为学者们提供了研究与思索的场所，成为会聚人才智慧的中心，后来许多重要的新思想和新技术都从这里诞生。

利，学校在教会的管理下进行教学，主要研究、讲授神学和文学。1167年，一些在巴黎大学学习的教师回到英国牛津，创建了牛津大学。

42年之后，一批与学校当局意见不一的师生离开牛津大学，在1209年创建了剑桥大学。与博洛尼亚大学不同，牛津大学和剑桥大学的管理权掌握在教师手中。到中世纪末期，欧洲已经建立了20多所大学，其中2/3分布在法国和意大利。

当时欧洲大学的主要专业有文学、法律、医学和神学四种科目，学生用3年~4年时间学习，通过考试获得学士学位；再用几年时间读完算术、几何、天文和音乐课程者，可以获得硕士学位。欧洲大学的科目逐渐超越神学范围，大学逐渐成为多种学科的高等学术中心。

然而，当时欧洲大学的学术活动水平还不高，尤其是关于自然的知识常常和迷信混在一起。公元1348年，欧洲流行鼠疫，巴黎大学关于鼠疫的论文认为“土星、木星和火星在1335年3月20日会合，是发生鼠疫的主要原因”，论文建议用吃酸菜、使用香料和佩戴宝石护身符等办法预防鼠疫。

中世纪大学的出现，是欧洲走出黑暗愚昧的重要一步。大学为学者们提供了研究与思索的场所，成为会聚人才智慧的中心，后来许多重要的新思想和新技术都在这里诞生。

与此同时，欧洲热衷技术创新的人越来越多，为了促使有用的新技术不至于封闭在狭小的作坊里，能够产生更大的效益，公元1421年意大利创立了专利制度。这种制度使发明者愿意在获得报偿的前提下公开自己的技术秘密，促进发明的推广应用。专利制度保护发明人的知识产权，激励更多的人从事发明创造活动，今天它已经成为世界上大多数国家和地区共同遵守的规则。

来自外部世界的知识，使基督教会内部发生了微妙变化。神职人员打算借用古希腊哲学家亚里士多德的说理方式，让人们笃信基督教义，他们利用亚里士多德关于宇宙

的理论，与公元2世纪希腊化时期著名天文学家托勒密阐述的宇宙模型，诠释《圣经》。许多修道院出于这样的动机，开始研读古希腊学者的著作典籍。

亚里士多德是古希腊哲学集大成者，不同于前辈苏格拉底和柏拉图，他对自然现象有浓厚的兴趣，主张依据感觉经验，通过严密的逻辑推理探寻自然现象之间的联系，对各种各样的自然事物作出解释。他曾根据月全食出现与消失阶段月球上呈现的弧形阴影，推断地球并非他人所说“像一个盘

早在古希腊时代，人们可以自由地对宇宙作出多种解释，可以不同意甚至批评亚里士多德和托勒密的观点，而当教会开始垄断宇宙解释权的时候，任何异议都有可能获罪。

子浮在水中”，而是三维空间的一个球体。但是他认为这个球体是宇宙的中心，它本身绝不运动。一切物体包括太阳、月亮、星星都周而复始地绕它旋转。他不但讲学，还非常喜欢写书，他的书涉及大自然和人类活动的许多方面。

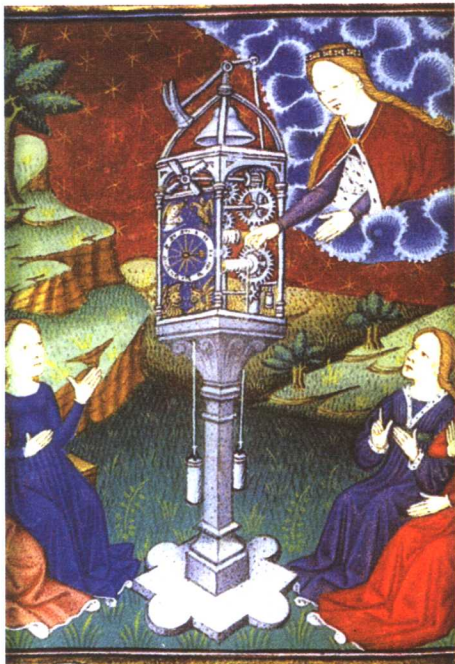
亚里士多德的这种理论与人们的感官经验十分相符，后来天文学家托勒密用当时的天文观测结果进一步补充了这种解释，给这种臆想的宇宙模型穿上了厚实的天文学“外衣”。

当这两位学者的观点进入基督教会视野后，便迅速被接纳为神学的重要组成部分。在人类历史上，科学问题第一次变成了宗教问题。早在古希腊时代，人们可以自由地对宇宙作出多种解释，

可以不同意甚至批评亚里士多德和托勒密的观点，而当教会开始垄断宇宙解释权的时候，任何异议都有可能获罪。

然而，浩瀚的古希腊典籍进入欧洲，亦使得教会内部萌生了一种新的思想动机，一些神职人员不再满足于背诵枯燥神秘的教条，开始寻求神学与世俗知识的融合，希望教会能够更有效地控制世俗事务。这种探索在公元13世纪达到高潮，这一时期出现了许多杰出的学者，其中包括经院哲学的代表人物托马斯·阿奎那（1225—1274）和实验科学最早的倡导者罗吉尔·培根（1210—1294）。

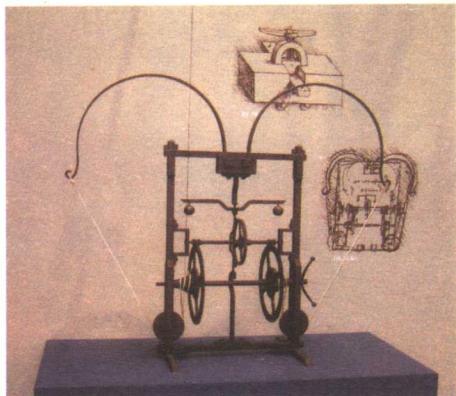
无论是托马斯·阿奎那，还是罗吉尔·培根，他们在自然科学探索方面很少从事具体工作，然而却把束缚人类思想的牢笼撕开一道大大的裂口，从这里人们可以望见若隐若现的真理之光。



▲具有擒纵机构的钟，公元1300年

托马斯·阿奎那是一位修士，出生在意大利，在巴黎和罗马教过书。他认为知识的重要来源之一，是人类理性推导出来的真理。他按照亚里士多德的逻辑学建立了自己的理论体系，这种哲学在欧洲根深蒂固，他的学说亦构建了欧洲产生近代科学必需的学术氛围。

罗吉尔·培根出生在英国，也是一位修士，在牛津大学接受过良好教育。作为哲学家，他高于同时代学者之处在于，笃



▲ 达·芬奇发明的时钟复原模型，采用弧形弹簧作动力，用梯形滚轮补偿弹簧张力的变化，改变上部横梁上两个小球的距离，可以调节钟的快慢。1485年设计，1995年完成这件复原模型（模型样机存佛罗伦萨博物馆）

无论是托马斯·阿奎那还是罗吉尔·培根，他们在自然科学探索方面很少从事具体工作，然而却把束缚人类思想的牢笼撕开一道大大的裂口，从这里人们已经可以望见若隐若现的真理之光。

中世纪后期，欧洲本土的技术发明取得了重大进展，它们对人类活动产生了深远影响。

1200年，英国人发明了玻璃磨制的放大镜，通过它看物体，会获得比实际尺寸更大的视觉效果，这是人类第一次借助外部器具提高视觉能力。这项发明使欧洲许多以生产玻璃器皿著称的城市，迅速建立起生产老花镜的作坊，老人们不再受老花眼困扰，能够用凸透镜矫正视力，继续看书写字做学问。

1520年，欧洲的工匠发明了凹透镜，并做成校正近视的眼镜，从此，近视不再成为制约人类活动的痼疾。

透镜的发明，使学者能够超越视觉生理局限窥测大自然的奥秘，获取目力所不能及的信息，使科学探索之路变得平坦。

1300年，欧洲人发明了具有擒纵机构的机械钟，使不均匀的自然驱动力（重锤或弹簧）不致影响时钟的走时精度，机械钟向实用化迈出重要一步。1350年，德国钟表匠发明了可以报时的闹钟，当时修道院用它按时叫醒僧侣起床做祷告，这是人类第一次用自己的发明代替公鸡打鸣报时。后来大型座钟出现在欧洲的许多教堂钟楼上，使人们能按

信只有实验方法才能给科学奠定坚实的基础。这是人类探索自然理念的一次革命性转变，亦是人类在思想史上第一次走出令人目眩的亚里士多德光环。罗吉尔·培根说，有一种科学比其他科学都完善，要证明其他科学就需要它，那便是实验科学。实验科学胜过各种依靠论证的科学，因为无论推理如何有力，都不可能提供确定性，除非有实验证明它们的结论。罗吉尔·培根还对人性有过深刻分析，他说，人犯错误的原因有四，即对权威的过度崇拜、习惯、偏见和对知识的自负。

透镜的发明，使学者能够超越视觉生理局限窥测大自然的奥秘，获取目力所不能及的信息，使科学探索之路变得平坦。

照统一的时间行事，钟表开始影响人们的社会行为。

欧洲钟表制造技术的进步，为人们提供了可以精确量度时间的标尺。后来，科学家基于时间的精确测量，在物理学和天文学领域发现了许多重要的自然规律。借助钟表提供的时间尺度，人们能够协调有序地工作，能够顺利进行许多复杂困难的工程技术活动。

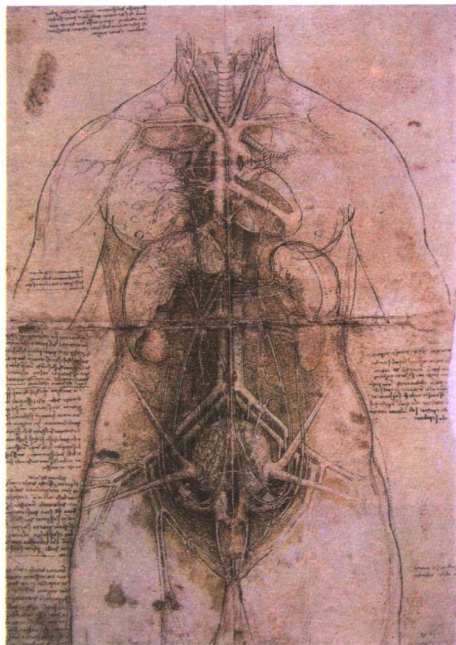
与此同时，艺术在欧洲出现了前所未有的繁荣，新气象首先突出地表现在绘画上。绘画的主题逐渐超越单调的宗教题材，开始关注并表现普通人的真实情感和世俗的生活。艺术家先后创造了透视画法和油画，并且开始观察研究真实的人体结构。

作为比文字更为古老的表达信息方式，用绘画描绘世界、记录人类活动，

已有数万年历史。直到公元13世纪以前，画面不分远景和近景，因而很难在平面上产生立体的空间效果，缺乏真实的艺术感染力。公元1290年，意大利画家乔托借鉴古希腊和阿拉伯人关于几何学和光学的研究成果，创造了透视画法，把视觉产生的空间印象真实地移植到画面上，这就是近大远小的画法。画面上，近处一条宽阔的河流波涛翻滚，在远处则可能表现为消失在天际的细线；远处的山，亦可能画得比近处的人更小。这种画法找到了在二维平面上表达三维空间信息的诀窍。从乔托开始到摄影技术产生之前的500年间，这是在平面上表现空间立体景象最合理的方法。

大约在公元1400年时，一批欧洲画家创造了油画。他们用亚麻子油调制颜料，而后在画布上作画，而不再把水作为调色溶剂。不同的颜料在油中调和，可以在画布上产生更加丰富的色彩效果，使光线和色彩逐渐取代线条成为绘画要素，从而使画面蕴涵的信息量迅速增加。

为使画面人物更加传神，一些画家不顾宗教禁忌，开始偷偷解剖并研究尸体，以弄清楚皮肤下面的肌肉和骨骼怎样使人保持平衡，怎样使人产生无比丰富的体态和表情，



▲ 达·芬奇在1508年绘制的女性人体解剖图，局部用褐、红、黄颜料染色（存英国温莎城堡皇家图书馆）

其实，达·芬奇还应该被称做科学家、哲学家和发明家，他对科学、哲学和发明的贡献远远多于艺术。

以便绘出的人物形象更加准确，更加富于生命感。

构图空间关系的变化、颜料的更新，以及画家对人体解剖的深入研究，一扫中世纪呆板僵化的绘画风格，极大地增强了绘画的艺术感染力，丰富了绘画的艺术语言，更加人性化、更加贴近自然的佳作数不胜数。直到今天，人们在凝视

它们的时候，还会浮想联翩。

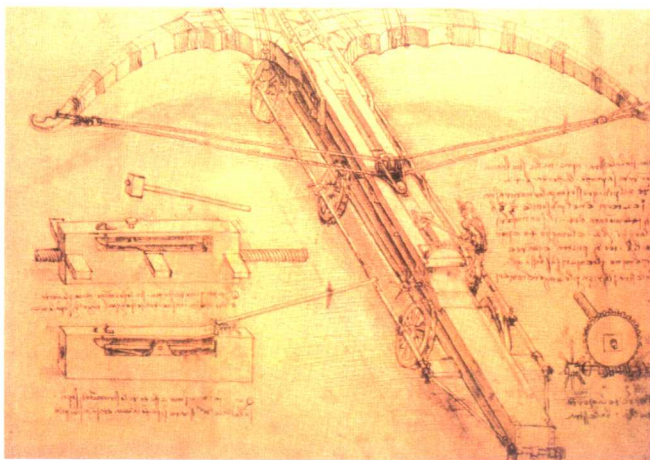
在这里，要提及一位杰出的人物，即列奥纳多·达·芬奇（1452—1519），他是作为一名艺术家被世人所知的。巴黎卢浮宫艺术博物馆有一间观众最多也最安静的展厅，里面悬挂着达·芬奇的名画《蒙娜丽莎》。《蒙娜丽莎》是达·芬奇当年移居法国时，随身从意大利带来的。世界各地来卢浮宫的人差不多都要在这里驻足，欣赏“神秘的微笑”，跨过历史长河与大师心灵交流，任何语言都是多余的。

其实，达·芬奇还应该被称做科学家、哲学家和发明家，他对科学、哲学和发明的贡献远远多于艺术。

早年，达·芬奇是为“实用”而接近和开始研究科学的。他曾解剖过30多具尸体，透彻地了解了人体各种器官的位置结构，并分析研究它们的生理功能；他曾形象地用地球上水的循环比喻血液在人体中的运动，这比英国医生哈维发现人体血液循环早100多年；为设计工程机械和武器，他重新研究杠杆原理，发现了传动系统的机械能守恒定律；他对流体的运动过程进行深入研究，发现了不同比重流体平衡的规律，还发现了射流效应；他认为声音是在空气中传播的波，关于波的理论也可以应用于光，光的反射和声音的反射相似；他还对化石作出了最早的科学解释，认为它们是远古生物的遗骸；由于在高山上的发现海洋生物化石，他推断地球的表面一直在运动变化。

达·芬奇因其在科学方面的发现而兴奋不已，他满怀深情

► 达·芬奇在1490年设计的弩炮手稿，他认为弩炮优于火炮之处在于不会暴露目标（存英国温莎城堡皇家图书馆）



地为同时代人和未来的人们设计了不可胜数的新机器。1490年，他设计了利用人体动能的扑翼飞机，成为欧洲第一个应用机械学原理设计出飞行器的人。同年，他设计了人类历史上最大的弩炮，弩炮长23米，弩弓宽24米。通过巧妙复杂的工程设计计算，这架弩炮可以把一个普通人的力量放大数千倍，产生巨大的爆发力，抛出沉重的炮弹。达·芬奇认为，使用火药的大炮，其射击时发出的震响会暴露目标，而他的弩炮则不会。

1499年，当意大利和西班牙发生战争时，达·芬奇为意大利设计



▲德国画家丢勒（1471—1528）于1514年创作的版画《忧郁——之一》，画中天使迷茫的神情，表现出即将走出中世纪的人们的心境。高23.7厘米，宽18.7厘米（存大英博物馆）

了最早的坦克。这种坦克有封闭的坚实外壳，有两对可以自由驱动并灵活转向的车轮，可通过鼓形齿轮和曲轴操纵。1500年，达·芬奇设计了手动起重机，相向而立的两个人各自扳动齿条上的连杆，预计可以缓缓提起重达数吨的物体。1503年，为挖掘意大利阿尔诺运河，达·芬奇设计了可以在宽18米、深6米的工作面同时上下双层推进的挖掘机。他还提出最早的自行车设计方案，由于欧洲当时还没有能够制造链条的金属材料，因此实用的自行车在400年后才出现。

达·芬奇留下的各种发明构想和工程设计图有1000多页，有趣的是，其所有的说明文字都是反向写出的，需将文稿面对镜子，从镜中阅读。人们猜想，达·芬奇或许是左撇子，或许不愿意像普通人那样从左到右写字；也有人猜测，他可能故意不让人

达·芬奇是一位既摆脱神学羁绊也不盲从古典学术的探索者，他对事物比对书本兴趣更大。无论对科学、对艺术，与同时代人相比，他总是与众不同。

们看懂，这些草稿只用来记录他自己的思想轨迹。

达·芬奇是一位超越时代的发明家，他充满人文情怀的发明方案，在原理上很多都是正确的；然而，实现

它们需要强大的动力和耐用的材料，当时欧洲蒸汽机尚未出现，冶金技术水平低下，无法为他提供足以推动巨型机器的力量和高强度的零件。数百年之后，这些构想中的许多方案都变成了现实。

达·芬奇是许多领域的开路先锋，是一位既摆脱神学羁绊也不盲从古典学术的探索者。在他看来，对自然界的观察，是科学独一无二的方法。古代学者的知识，作为研究的起点是有益的，但不能作为最后的定论。他对事物比对书本的兴趣更大，对实验的研究比对亚里士多德的意见看得更重。无论对科学、对艺术，与同时代人相比，他总是与众不同。如果人们要选择一位人物代表文艺复兴时代的精神，一定会选择他。

漫长的中世纪是欧洲现代社会的摇篮。中世纪后期，古希腊的探索精神已经在许多欧洲人心中安家，新的科学即将在欧洲产生，人类发明活动将随之出现深刻的变化。■

七 近代科学诞生

欧洲文艺复兴孕育了自由、理性的探索精神，人们开始摆脱宗教的枷锁，以新的方式追寻宇宙的奥秘。科学的进步，使人们能够依据新发现的科学原理创造前所未有的新技术。人类的发明活动开始摆脱对经验的依赖，建立在科学发现基础之上。

科学对神学的挑战，是从天文学开始的。

公元1512年，波兰天文学家哥白尼（1473—1543）在他隐姓埋名撰写的一本小册子中，提出一种新的宇宙观，这种新的宇宙观简称“日心说”。哥白尼认为，已经流传1400年之久被基督教会视为经典的托勒密宇宙体系是错误的；地球不是宇宙的中心，而是同别的行星一样围绕太阳旋转，太阳才是宇宙的中心；地球每年绕太阳一圈，每天又自己旋转一周。哥白尼这本名为《概要》的小册子手抄本，只在天文学家之间流传。

与哥白尼“日心说”相对立的托勒密体系认为，地球是不动的，是宇宙的中心，月亮、太阳、行星都围绕地球旋转，这种宇宙观简称“地心说”。

托勒密（约90—168）是亚历山大城的天文学家，他曾在其巨著《天文学大成》中，提出完整的宇宙“地心说”。欧洲中世纪教会视“地心说”为不可冒犯的“真理”。

哥白尼出生在波兰一个水陆交通便利的城市，就像古希腊哲人泰勒斯一样，少年时，他便有机会接触多种多样的思想。18岁时他进入当时波兰的都城克拉科夫大学学习医学，然而却对天文学产生了兴趣；23岁来到意大利博洛尼亚大学学习法律、医学和

科学对神学的挑战，
是从天文学开始的。



▲ 16 世纪欧洲出版的一部天文学专著的扉页，汇集在一起的各种新事物表达了人们对新时代的感受

神学，后来进入帕多瓦大学，结识了天文学家诺瓦拉（1454—1540），并从他那里学到了天文观测技术，接触到古希腊天文学理论。

1506年，哥白尼回到祖国，开始从事天文观测和研究工作。当时，欧洲航海活动正热火朝天，人们要求天文学家编制更加详细准确的星表。在此背景下，哥白尼潜心分析了他能够得到的所有天文观测数据，发现天上的星星并非依照“地心说”的规则运动，尤其是从地球上观看行星，它们经常行为怪异，有时迎着地球而来，有时又逆向退回，有时干脆停在天空不动（天文学家称之为“顺行”“逆行”和“留”）。

在研读古希腊天文学典籍时，哥白尼注意到阿基米德曾经在一份手稿中写道，亚历山大城的天文学家阿里斯塔克（前315—前230），曾经提出地球和行星都围绕太阳旋转，地球每天自西向东旋转一周。然而，人们认为这不合常理，因为鸟儿向东飞和向西飞没有什么差别，而且，垂直下落的物体，其落地点并不向西偏移；还有，如果地球以那样高的速度旋转（当时已经测出地球的半径，如果地球每天旋转一周，可以直接算出在赤道上旋转的速度是一个很大的数值），人在地球上岂不都被甩出去？当时的天文学家认为，如果地球真的绕太阳旋转，那么每隔6个月，应该观察到遥远恒星位置的变化（称为“恒星视差”），可是人们从未观察到这一点。因此，阿里斯塔克的理论彻底被人们遗忘。

作为天文学家，哥白尼不会在意普通人的感觉，他对天文学家一直没有观测到“恒星视差”作出这样的解释：因为宇宙的范围比人们想象的要大得多，恒星非常遥远，当时天文观测受到视觉分辨力限制，不可能发现这种视差。他认为阿里斯塔克的理论是正确的，宇宙应该服从一种简约和谐的运动规律，地球和人在宇宙中，并不应该占有特殊的

哥白尼本人并没有发明新的天文观测仪器，也没有获得超越前人的新观测结果。但是，他看到了隐藏在浩如烟海的天文观测数据背后宇宙的奥秘。

位置。哥白尼提出的理论主要有两点：

1. 地球和所有的行星都围绕太阳做圆轨道运动，太阳位于稍微偏离圆心的地方；
2. 行星距离太阳越远，绕行一周所需时间越长，而且它们按顺序排列，呈现出非常明显的规律性。

哥白尼在他的宇宙体系里，重新安排人们已经发现的五大行星（水星、金星、火星、木星和土星）的位置，并把地球纳入其间。他指出，距太阳最远的行星是土星，它的公转周期（围绕太阳运行一周所需时间）是30年（实际为29.46年）；其次是木星，公转周期12年（实际为11.86年）；再其次是火星，公转周期2年（实际为1.88年）；之后是地球，公转周期为1年。月球作为地球的卫星绕地球旋转，并同地球一道绕太阳旋转；地球之后是金星，公转周期为9个月（实际为225天）；距太阳最近的是水星，公转周期为88天。

哥白尼当时提出的数据与后来的观测结果基本相符。

哥白尼的这一理论在当时的天文学家中引起巨大震动，使许多人看到了探索天体奥秘的新途径：原来神秘莫测、不可思议的天体行为，在这种宇宙体系中突然变得十分明白且容易理解。

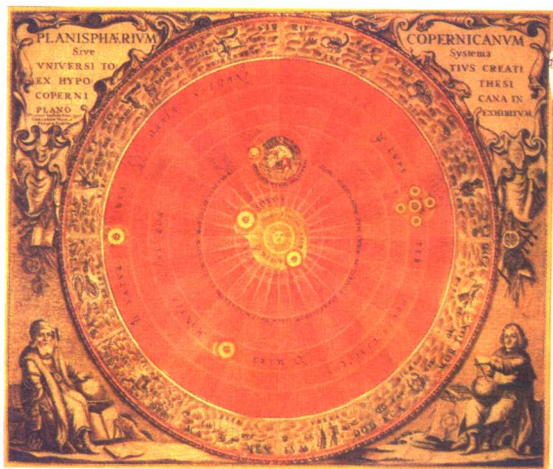
由于当时波兰的条件限制，哥白尼本人并没有发明新的天文观测仪器，也没有获得超越前人的新观测结果。但是，他比此前所有的天文学家都更加关注天文学的根本问题，看到了隐藏在浩如烟海的天文观测数据背后宇宙的奥秘。

哥白尼深知自己的理论与宗教观念严重冲突，故直到临终前才正式出版完整阐述这

哥白尼的《天体运行论》，是人类科学史上第一部以充分的科学论据阐述新宇宙观的科学文献，它无声地揭开了科学革命的序幕。

种新宇宙观的著作《天体运行论》。1543年5月24日，刚刚印好的新书送到哥白尼的床前，中风卧床已多年的哥白尼虚弱地伸出手臂，轻轻抚摸了下新书的封面，不久便离开了人世。

《天体运行论》全书共分六卷，第一卷是“日心说”的



◀ 哥白尼体系示意图，太阳已经成为宇宙的中心



▲第谷在天文台工作，那些复杂的机械装置，主要用以提高观测星体方位的精度

总体概述；第二卷到第六卷是应用“日心说”的理论，分析解释在地球上观测到的行星运动。这是人类科学史上第一部以充分的科学论据阐述新宇宙观的科学文献，它无声地揭开了科学革命的序幕。

哥白尼的“日心说”动摇了神学教义的核心基础，被教会视为大逆不道的邪说。当时，即使是基督教内部最富于革新精神的新教领袖马丁·路德（1483—1546），也坚决反对哥白尼的学说。他说：“人们正在注意一个突然发迹的天文学家，他力图证明是地球在旋转，而不是太阳在旋转。这个蠢才竟然想把整个天文学连底翻过来。”

哥白尼在世人惊愕与愤怒的目光中逝去之后，赞同并支持“日心说”的学者相继遭到教会迫害。意大利学者布鲁诺（1548—1600）充满激情地传播哥白尼的学说。1592年，他被教会逮捕，经过八年审讯之后，于1600年2月17日被烧死在罗马鲜花广场。行刑前，教会派人用特制的钳子把他的舌头从嘴里拉出来用木头夹住，使他不能再向公众讲话。

那时，许多天文学家也不赞同哥白尼的学说，其中包括非常有名气的天文学家第谷·布拉赫（1546—1601）。1576年，第谷·布拉赫在丹麦国王支持下建立两座大型天文台，以前所未有的精度观测天象，其测定星星在天空的方位，能精确到 $1/15^\circ$ ；在天空中一段 150° 的弧线上，可以分辨星星2000颗以上。第谷·布拉赫连续观测记录天象达20年，积累了极为丰富的数据。他认为所有的行星都围绕太阳旋转，但是太阳又围绕地球旋转，地球是不动的。

1597年，22岁的德国天文学家开普勒（1571—1630）担任第谷·布拉赫的助手，布拉赫将毕生观测所得数据交给开普勒，希望他继续编制世界上最精确的行星运行表。两年后第谷·布拉赫去世。具有深厚数学功底的开普勒经过20年的研究后发现，依据哥白尼的理论，这些浩繁的数据可以归纳为描述行星运动的三条简单明晰的定律。

这三条定律是：

1. 行星沿椭圆轨道绕太阳运动，太阳位于椭圆的一个焦点上（每个椭圆都有两个焦点）；

2. 连接太阳和行星的线段，在相等的时间内扫过相等的面积；

3. 行星绕太阳运动，椭圆轨道平均半径的立方与周期的平方成正比。

正当天上的事情闹得沸沸扬扬的时候，一批欧洲学者开辟了探究地上事物的新途径。

这三条定律对太阳系中所有的行星都适用，也包括地球。根据这三条定律，还可以通过数学计算，预报行星在天空中的位置，而且预报与观测的结果十分相符。

1618年，开普勒出版《宇宙的和諧》一书，全面阐述他的发现，从此确定了哥白尼学说在科学史上的地位。

有趣的是，第谷·布拉赫一直反对哥白尼的理论，然而正是他的观测数据，最有力地支持了“日心说”。开普勒发现的行星运动三定律，增强了人们理解宇宙的信心，同时也提出一个新问题：行星为什么会这样？

正当天上的事情闹得沸沸扬扬的时候，一批欧洲学者开辟了探究地上事物的新途径。他们抛弃了自亚里士多德以来凭直觉演绎推理的思维习惯，赞赏先哲曾经有过的观念：“研究自然，实验是获得真知最可靠的依据。”以伽利略（1564—1642）为代表的物理学家，深信实验是自然科学的基础，并使这一哲学论断成为可以操作的科学方法。

伽利略1564年出生在意大利，17岁时进入比萨大学学医，然而使他着迷的是数学和物理学，他没有毕业就离开了比萨大学，专心研究欧几里得的几何学与阿基米德的物理学。1589年，25岁的伽利略获得比萨大学数学教授职位，而当时数学教授薪金是医学教授的1/30。

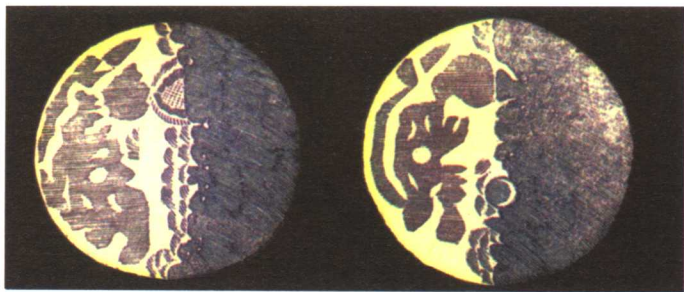
伽利略对亚里士多德的物理学理论总是持有怀疑态度，认为那些貌似有理的论断，常常阻断人们追求真理的道路。1590年，伽利略在比萨大学进行了有名的自由落体实验，证明亚里士多德关于物体下落的论断是错误的（相传他还在有名的比萨斜塔上做过这类实验）。亚里士多德这位古希腊百科全书式的学者曾经说过：“物体越重，下落的速度越快。”2000多年来，世人对此深信不疑。然而，伽利略的实验结果表明，在不考虑空气阻力的情况下，物体无论轻重，下落的速度都一样。研究自由落体的实验没有任何功利目的，然而意义深远，它动摇了亚里士多德物理学的权威地位，让人们看到，实验是开辟



► 17世纪初意大利制造的玻璃温度计，螺旋形多圈细玻璃管可以使人们察觉微小的温度变化

真理之路的犀利武器。

1592年，伽利略转至帕多瓦大学任教。医学院的一位朋友请他帮忙发明一种能够探测病人是否发烧的温度



▲伽利略手绘的从望远镜中看到的月球表面

计，这对诊断和治疗十分重要。然而，这项发明对当时的学者来说十分困难，因为温度是一种看不见的物理量，且每个人的感觉器官对温度的反应各不相同，这种感觉无法相互比较，无法凭感觉说出温度的具体数值。

正当伽利略一筹莫展的时候，罗马教皇召他进宫审查一种新奇的“永动机”。这是一件由玻璃吹制成的复杂装置，水在这种密封的容器中不需要任何外部能源，便可周而复始地循环流动。伽利略观察了三天，告诉教皇：“这不是‘永动机’，是昼夜温差引起气体膨胀产生的压力变化在驱动水循环。”在返回帕多瓦大学的路上，伽利略突然产生一种联想，可以通过温度变化引起液位移动测量温度。于是，他请玻璃工匠做了一段带有刻度的玻璃管，一端开口，另一

科学仪器拓展了人类感知世界的能力，借助科学仪器进行实验，能有效地揭示自然界的因果关系。

端吹制出一个可以用手握住的空心圆球。将玻璃管开口的一端插入盛水的碗中，让病人用手心握住圆球；病人的热度愈高，圆球中的空气就膨胀得越厉害，玻璃管中的液面也就下移得越多；根据液位在刻度上的变化，可以客观地比较病人体温的变化。

这是世界上第一支依据科学原理制成的温度计，从此人们可以客观地测量并记录温度。

温度是一个基本物理量，自然界的一切过程和生命活动都与温度密切相关，温度计的发明使人类获得了一把打开自然密室之门的钥匙。这件发明的意义还在于，借助与人无关的自然现象，能够使无法感知的物理量产生可以识别的信息，标志着一种新科学仪器的诞生。



▲伽利略亲手制作的两副望远镜，当时磨制镜片的工艺比较简单，只能用增加长度的办法提高放大倍数

当时许多哲学家和天文学家告诫人们：“伽利略从望远镜里看到的是虚假的幻觉。”他们自己则坚决不看伽利略的望远镜。

科学仪器拓展了人类感知世界的能力，借助科学仪器进行的实验，能够有效地揭示自然界的因果关系。科学仪器能够以数据形式将自然现象特征记录下来，可以比较不同地域和时间的实验结果，可以采用数学方法对数据进行演算，并通过严密复杂的逻辑推理，发现深藏

在现象背后的规律。

1595年，伽利略发现了一种物体摆动的规律。他发现，当一段长长的绳子吊着一件重物小角度自由摆动时，周期（摆动一次的时间）与摆动幅度大小无关，与物体质量无关（又与常识不一样），与摆长的平方根成正比。地心引力愈大，摆动愈快。服从这种规律的摆动系统称为“单摆”。单摆等时性定律，是人类发现的第一个动力学定律。

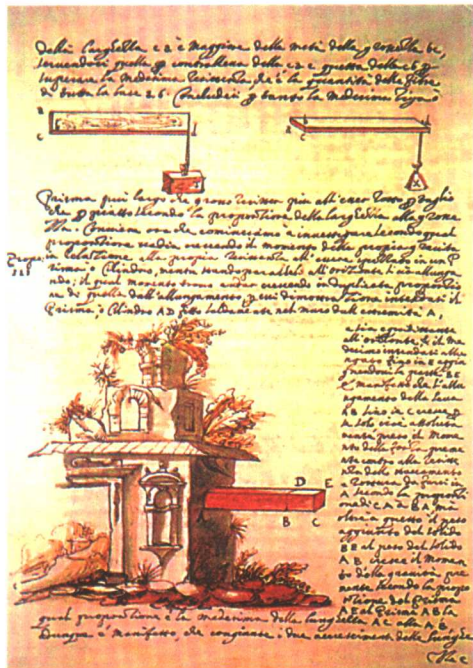
根据单摆周期的变化，人们可以测量地球上不同地方重力的大小，估算地球的几何形状；单摆可以为计时仪器提供稳定的时间基准，使人们找到了提高时钟精度的途径。

1602年，伽利略利用自己设计的实验装置和仪器，发现了惯性定律。他发现，在不受外力的情况下，物体将保持自身惯性，做匀速直线运动。他还发现，物体在自由下落时速度越来越快，然而速度的变化率保持不变，他称这种变化率为“重力加速度”。他还计算出物体抛射出去之后的运动轨迹，指出当抛射角为45度时，抛射的水平距离最远，为弹道的设计计算奠定了理论基础。

1609年，伽利略把荷兰人利帕希发明的3倍望远镜改进到20倍，第一次用它指向天空，发现了月球的环形山、金星的盈亏圆缺、木星的卫星、土星的光环和组成银河系的不可胜数的遥远星体。在伽利略之前，天文学家只能用肉眼观测星体，由于受视力分辨能力的限制，人类能够看到的天体数目非常有限。采用20倍望远镜之后，人们在天空中识别星体的分辨能力提高了400倍，在视觉感受中星体的亮度也增加了400倍，通过望远镜可以看到的星体的数量，比以前增加了10万倍以上。望远镜拉近了人类与星体的距离，许多遥远、黯淡的天体进入人们视野，天文学从此进入一个新阶段。

►《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》一书封面





▲ 伽利略被囚禁期间撰写的书《两种新科学》手稿，由于不能再从事天文观测，伽利略转入静力学和材料力学的研究

上了宗教裁判所的黑名单。

1630年，伽利略用当时人们全能看懂的意大利文（当时学者写书，只用少数人能看懂的拉丁文），写出了《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》一书，进一步阐述哥白尼理论，详细描述用望远镜在月球上看到的情景，讨论月球表面的地质构造，用运动的相对性原理回答人们对地球自转的诘难，用地球绕太阳公转说明四季星空变化的原因。

这本书于1632年3月获准出版，同年8月即被列为“禁书”。第二年的3月12日，伽利略在罗马宗教法庭受审，6月22日被宣判终身监禁，罪名是“反对《圣经》，宣扬‘日心说’”。

伽利略在被监禁期间，仍然继续他所钟爱的学术研究，在拘禁期间，他完成了最后一部著作《两种新科学》，归纳了其一生物理学研究的全部成果。1638年，这本书在远离罗马的阿姆斯特丹秘密出版。四年之后，早已双目失明的伽利略，在监禁中离开了他一生都在探索的世界。

伽利略通过望远镜看到的天空景象，进一步证实了哥白尼学说。月亮的环形山表明天界和人间区别很小，都不那么完美；金星的盈亏圆缺只有按哥白尼的理论才能解释；木星也有四个小“月亮”围绕它旋转；地球和木星简直像同一家族的成员。在望远镜里发现的宇宙范围，远远比人们估计的要大，没有观察到恒星视差是必然的事，并不能成为反对哥白尼学说的理由。

1610年3月，伽利略将他的新发现写成一本小册子，名为《星空信使》。人们欢呼：“哥伦布发现新大陆，伽利略发现了新宇宙！”然而，当时许多哲学家和天文学家告诫人们：“伽利略从望远镜里看到的是虚假的幻觉。”他们自己则坚决不看伽利略的望远镜。就在这本小册子出版的第二年，伽利略的名字

400年后，爱因斯坦（1879—1955）在评价伽利略时说：“他的发现和他所应用的推理方法，是人类思想史上最伟大的成就之一，标志着物理学的真正开端。”

就在伽利略去世的同年，牛顿（1642—1727）诞生。

17世纪，探究自然在欧洲一些国家开始成为一种风气。人们欣赏伽利略的风格而厌恶夸夸其谈的雄辩。许多敏锐的探索者不仅具有丰富的想象力，也擅长实验，他们常常设计出非常聪明的实验方案，让大自然显露其秘密。在不同的学科领域，人们相继发现了许多重要的现象和定律。这时，人类的发明活动开始摆脱对经验的依赖，建立在科学发现基础上的新技术发明，使人们有可能完成从前无法企及的工作。

1643年，即伽利略去世后的第二年，他的学生托里拆利（1608—1647）发现了大气压力，使人们开始研究身边无时不在的空气。

当时，在欧洲的一些地方，人们已经注意到用水泵抽水时，水只能上升到10米高。以前人们一直用亚里士多德的理论解释水泵的工作原理，认为是水泵活塞提起带走了空气，而大自然厌恶真空，水才会自动上升填充空气原来占有的地方。然而，一些人产生了疑问，为什么在10米以上的地方，大自然就不“厌恶真空”呢？

托里拆利认为，一定是一种有限的力在推动水柱上升，他想用一个实验测量这个力的值。于是，他和助手准备了一个盛有水银的盘子，用玻璃制作了一根1.2米长，且在一端封口的细管；先在管里注满水银，用指头封住水银的出口，把管子倒过来插在盘子里，松开手指头，玻璃管中的水银就开始向下流动；当水银柱上端液面下降到760毫米时，就停住不动了。托里拆利马上做了一个简单的计算，发现760毫米水银柱产生的压力，正好相当于10米水柱的压力（水银的密度是水的13.6倍）。原来是空气产生的压力托起了管中的水银柱，也是同样的力使水沿着抽水机管道上升。

托里拆利更换不同长度的玻璃管进行试验，结果发现水银柱总是停留在760毫米高的地方。他还发现天气变化时，水银柱的高度会有微小变化。

在这个实验中，托里拆利获得了三项重要结果：

1. 用最简单的办法造成了真空（真空是没有任何物质的空间），从水银柱上端液面到玻璃管顶部的空间就是没有任何物质的真空，大自然并不“厌恶真空”。真空的发现，为250年后电子学诞生准备了最重要的

►托里拆利发明的气压计，U形管左侧细管上端开口，右侧顶端玻璃泡内保持真空，左右两侧水银柱高度之差，表示气压的大小





▲盖里克用重物向众人演示大气压力

意义。

大气压力的发现迅速引发了一系列新的探索活动。

1649年，德国工程师盖里克（1602—1686）发明了真空泵，利用真空泵可以抽出密封于容器中的空气。他受托里拆利实验的启发，在装满水的木桶上连接抽水机，设想当木桶中的水被抽走，就会形成真空。然而，由于木桶不够结实，在抽水的过程中漏气，有时甚至还会被外面气体的力量压破，因而总是失败。盖里克把木桶换成结实的厚壁铜球，这项试验才获得成功。

用抽水的办法获得真空十分不方便，不过，像任何新事物一样，第一件发明物品可能是最先进的，然而可能又是最不好用的。后来，盖里克模拟水泵的原理，在一段圆形金属管光滑的内壁中装上可以往复运动的活塞，活塞前后各有一个可以单向开启的阀门，当一个阀门打开的时候另一个就会闭上；把这样的金属管连接在容器上，往复移动活塞，容器中的气体就会越来越稀薄，做成了实用的真空泵。

盖里克发现，在抽去空气的容器里，小动物不能存活，蜡烛不能燃烧，食品却可以长久保持新鲜。这些发现启发人们思索空气的成分，探究空气与人的关系，促进了化学、生物学和医学的发展。

1660年，盖里克经观察发现，坏天气到来的前两三天，气压计的读数会发生微小变化，水银柱大约会下降1毫米~2毫米，于是他开始用气压计预测风暴和降雨。这是人类最早的科学气象预报，因为气压降低会造成空气升腾，产生强烈的空气流动，这是形成风和雨的先决条件。

大气压力的发现，对理解地球上发生的各种自然现象，以及了解生命活动，都具有极为重要的意义。

实验条件。

2. 证实了大气压力的存在，而且非常方便地测出了它的数值，一个盘子和装有水银的玻璃管就是气压计。

3. 大气压力是变化的。

通过一个简单的实验便获得如此丰富的信息，可谓科学的幸事。数百万年来人类一直生活在大气之中，然而直到这项实验进行之后，人们才知道大气压力的存在。大气压力的发现，对理解地球上发生的各种自然现象，以及了解生命活动，都具有极为重要的

盖里克后来担任德国马德堡市的市长，在任35年。为了让人们相信大气有压力，1654年他当面为德国皇帝和国会议员进行了历史上传为佳话的“马德堡

半球实验”。这是一次极具戏剧性的科学实验，他把两个直径50厘米的铜质半球沿口涂上油脂对接，抽去球中的空气，在大气压力作用下，两个半球紧紧扣合在一起，半球上焊有结实的铜环，他让两支马队朝相反的方向分别用力拉两个半球，结果用了16匹马才把它们拉开。

哲学和数学赋予实验物理学家获得的结果以新的含义。

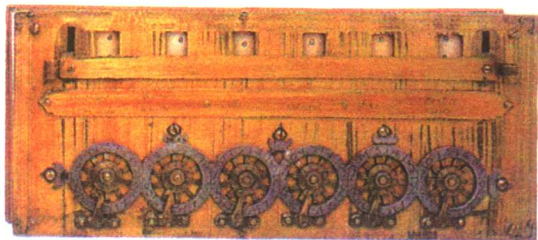
今天，人们知道，在海平面附近，大气压力在1平方厘米面积上产生的力量，大约相当于1千克物体产生的重力，大气压力使马德堡半球结合在一起的力量，大约相当于2.4吨重物产生的压力，确实需要那么多马才能将其拉开。

盖里克以市长和科学家双重身份邀请公众观赏科学实验，也是一大发明。

托里拆利发现大气压力的消息传到法国巴黎，使一位具有哲学头脑与数学才干的年轻人产生了新的思考。他认为意大利物理学家用水银柱量出的大气压力，实际上是空气重量产生的力。根据大气压力有限的数值，他推测围绕地球的空气也应该是有限的，而且随着高度上升，大气的压力会逐渐减小。他让人带着水银气压计登上高山观察气压计读数的变化，当实验者带着两个气压计登上当地一座海拔1600米的山峰时，气压计水银柱液面下降了75毫米，这表明山上的大气压力与山下相比，大约减少了10%。实验者又多次重复进行试验，结果完全一样。哲学和数学赋予实验物理学家获得的结果以新的含义，使人们获得了更多的与大气有关的知识。同时，根据大气压力变化和高度的关系，人们发明了用气压计测量高程的方法。直到今天，旅行者和飞行员仍喜欢使用这种方法。

这位聪明的年轻人就是法国杰出的学者帕斯卡（1623—1662），他不仅是哲学家、数学家、物理学家，还是一位发明家。

1642年，19岁的帕斯卡发明了最早的机械计算器。该计算器利用齿轮和精巧的传动机构组合，能够进行加减运算，而不需要使用笔和纸演算，也不需要记录计算的中间过程，只需操作机械按钮，便可以直接得出计算结果。这是人类最早借助机器进行脑力劳动的发明。



同时，帕斯卡还致力于流体静力学的研究，发现了继阿基米德的浮力原理之后另一条极为重要的定律：静止流体中

◀ 帕斯卡发明的世界上最早的计算器（复制品）

盖里克以市长和科学家双重身份邀请公众观赏科学实验，也是一大发明。

压强处处相等。他的这一发现使得人们通过技术发明，可以产生从未有过的巨大的力。例如，在与密闭液体容器相连的直径1厘米的管道中，安装一个活塞，用手轻轻按压活塞施加相当于1千克物体重量的推力，在容器另一端直径1米的管道中的活塞可举起10吨重的物体。阿基米德发明了通过杠杆放大力量的技术，帕斯卡则发明了通过静止的液体增大人类力量的方法。今天，能够使巨大的钢铁工件迅速改变形状的万吨水压机，以及使人们轻而易举举起汽车的油压千斤顶，都源于帕斯卡的发现。

毫不夸张地说，科学可以使人成为巨人。

帕斯卡是一位具有公民意识的科学家，他提出并亲自实践了最早的城市公共交通设想。1660年，在去世的前两年，他与合伙人创建了巴黎的公共马车营运机构，在巴黎共有5条线路，每条线路有7辆8座的马车循环运行。

托里拆利发现大气压力的消息传到英国，一位深受伽利略影响的青年学者对空气产生了浓厚兴趣。他以一种特殊方式研究无处不在的空气，同时发现了空气运动变化所遵循的基本物理定律，发现了空气与生命活动之间不可分割的联系，他就是有名的英国科学家波义耳（1627—1691）。

波义耳把托里拆利当年使用的玻璃直管换成一端封口的U形管，从开口一端向管内注入水银。水银把存留在U形管中的空气挤压到一边形成空气柱，水银注入越多，空气柱的高度就越小。根据注入的水银量可以算出空气柱承受的压力，精确测量压力和空气柱高度间的关系。他发现，残留在密闭管中的空气体积与压力成反比，这表明空气有弹性，是可以压缩的。这项实验还表明，如果不断减小压力，一定量的空气可以无限扩张，渗透到很大的空间范围。

这是科学家发现的第一个关于气体物理性质的定律。波义耳的这一发现，使人们可以设计制造更好的抽气机和空气压缩机，可以帮助人们理解和研究自然界中气体的运动，启发人们发明多种多样以空气为介质的工具和机器，还为蒸汽机的发明奠定了重要的理论基础。

波义耳还观察到空气压力对水沸点的影响。他发现空气压力愈小，水沸腾的温度愈低；空气压力愈大，水沸点愈高。这项研究直接导致真空干燥技术和高压锅出现。

波义耳是一位科学家，又是一位发明家。1654年，他和英国物理学家胡克（1637—1702）一起改进了德国人盖里克发明的真空泵，这种新的真空泵抽气快、真空度高。波义耳用它进行了许多研究，并从木材的蒸馏物里得到了丙酮与甲醇。他还用密封管改进了伽

利略发明的温度计，消除了大气压力变化对温度测量的影响。

波义耳是一位具有哲学家气质的科学家，在观察分析纷乱复杂的化学反应时，他提出了元素的概念，并且首次区分了化合物和混合物，为近代化学奠定了重要基础。波义耳是一位淡泊名利的学者，他拒绝了英国王室授予的贵族爵位。热爱他的人在墓碑上刻下这样一行字：“化学之父，伯爵的叔父”。

科学的进步增加了人们了解世界的能力，许多新的测量技术应运而生，使得人们能够超越感觉器官的生理极限，获取不曾知道的大自然信息。

1600年，曾担任英国王室掌印大臣的哲学家弗兰西斯·培根（1561—1626）向科学家提出，可否根据观察远处大炮的火光和听到大炮声音的时间差，测量声音的速度。1640年，梅塞尼利用精确的计时仪器完成了这项实验，测得声音在空气中传播的速度大约每秒300米。

遗憾的是，弗兰西斯·培根没能看到这一实验结果。虽然他不是职业科学家，但其一生都主张人们通过实验研究自然。

1626年，65岁的弗兰西斯·培根想知道防止食物腐败需要多么低的温度。在寒潮袭来的一个大雪天，他在室外把雪塞进鸡的肚里做试验，因受风寒而患重感冒，后来转为肺炎，不久便离开了人世。

1613年，沙伊纳通过望远镜观察太阳黑子方位的变化，发现了太阳自转现象并测定其周期为25天。

1650年，盖里克发明了抽气机，此后，他又测量密封容器抽空前后重量的变化，得出空气密度约每立方米1千克，比人们想象的重得多。

1657年，荷兰物理学家惠更斯（1627—1695）改进了伽利略设计的单摆时钟，按照精确的数学计算，令钟摆划过一条不同于圆弧的曲线（数学家称其为摆线）控制擒纵机

有了精确的计时仪器，人们便可更加准确地观察研究自然界的运动变化过程。人类对自然界的探索，从空间关系的描述发展为对时间过程的追踪。

构，使时钟走时误差从每天1小时减至5分钟。1675年，他把决定走时精度的钟摆换成“摆轮”，这个精巧的小轮子和纤细的弹簧连在一起，随着弹簧张弛，周期性地改变转动方向，利用它控制时钟齿轮的运动。用摆轮代替钟摆，摆脱了定时机构对重力的依赖，水平放置也能使用，



▲采用游丝摆轮的怀表，这件发明迈出了计时仪器小型化的关键一步

而且走时误差可以减至每天两分钟。这种精巧的时钟体积可以做得非常小，以便放在衣袋里，人们称它为“怀表”。从此，时钟由一种庞大的计时仪器变成普通人的日常生活用品，能够为更多的人提供服务，以更加有效的方式影响和协调人们的活动。

有了精确的计时仪器，人们便可更加准确地观察研究自然界的运动变化过程。人类对自然的探索，开始从空间关系的描述发展为对时间过程的追踪。

在弗兰西斯·培根提议测量声音速度时，人们认为光速非常快以致无法测量，无论光从多远的地方发出，总会“立即”到达观察者的眼前，人们看见光的时间并未滞后。75年之后，一位天文学家使人们改变了这种看法。

1675年，丹麦天文学家罗默（1645—1715）用望远镜连续观测木星后发现，绕木星旋转的四颗卫星在不同的月份，隐去（它们发出的光被木星遮挡）和复现的时间间隔并不相同。作为天文学家，他清楚地知道木星和地球绕太阳运行的轨道，在不同的时刻，地球与木星的距离发生变化，这种时间上的差异，只能是由于光以有限的速度传播所致。经对天文观测数据进行仔细分析，罗默计算出光的速度是每秒22.7万千米，（大约比今天人们测量出的光速数值小1/4）。他发现光速是有限的，而且测出了它的值，这是人类认识自然历程的一次飞跃，对人类形成正确的宇宙观，理解自然界更深层次的规律，创造崭新的技术，意义都非常深远。

古往今来，人类渴望了解自己。这既出于治疗疾病的需要，又源于解开生命之谜的强烈内心需求。然而了解人类自身比洞察身外的事物困难得多。因为生命过程极为隐秘复杂，而且人类有一种天性，不情愿解剖同类的遗体。在漫长的欧洲中世纪，尸体解剖被视为罪孽，只有在救治伤员进行外科手术或法医为弄清事实真相进行尸检时，才可以获得关于人体的零星知识。长期以来，包括医生在内，人们对人体构造和器官组织的了解非常少。

14世纪，欧洲淋巴腺鼠疫流行，造成近1/3人口死亡，为了查清病因，教会第一次允许进行尸体解剖。1531年，教皇克莱门蒂七世正式批准，尸体解剖合法。从此，有关人体的解剖研究相继在意大利和法国巴黎的几所大学开展起来，博洛尼亚大学还专门建立了一座有数百个台位的露天环形解剖教室。

1543年，出生在比利时的维萨留斯（1514—1564）出版了他的著作《人体结构》。这本书共分7卷，包括“骨骼系统”“肌肉系统”“血液系统”“神经系统”“消化系统”“脑感觉器官”与无法归入上述系统的其他器官（统称“内脏系统”）。

维萨留斯担任过军医，处理过许多由火器造成的严重外伤（当时，欧洲的枪炮已经开始取代冷兵器），又曾在帕多瓦大学担任解剖学教授，后来到西班牙担任宫廷御医，

具有丰富的医学知识。他曾经说：“只有勤于思考才能拯救人类，否则一切事物都将面临死亡。”

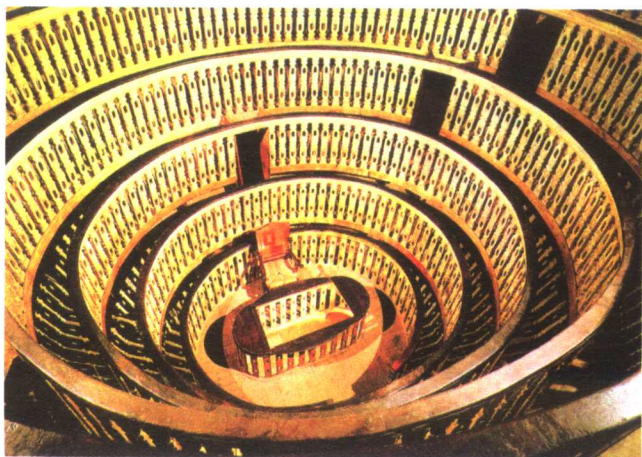
文艺复兴时期著名画家提香的学生卡尔卡，也是一位造诣极深的解剖学家，他为《人体结构》一书画了所有插图。这部图文并茂的书为西方医学奠定了重要基础。

这一时期，从事解剖学研究的其他学者，也已不再局限于对人体器官组织的形态描述，而开始探究它们对人体生命活动的意义。

1553年，出生在西班牙的塞尔维特（1511—1553）发现心脏右下方小室（医学上称为右心室）中的血液，通过与肺相连的动脉进入肺叶，而后通过肺静脉回流到心脏左上方的小空腔（医学上称为左心房），再流向全身。这种从心脏到心脏的血液流动过程，被称为“肺循环”。这一发现使人们第一次弄清肺和心脏的关系。塞尔维特在秘密出版的《基督教的复兴》一书中陈述了这一发现，教会认为它与相关教义抵触，便于1553年4月4日逮捕了塞尔维特。后来，塞尔维特逃出监狱，但又在日内瓦被新教的首领加尔文（1509—1564）抓住。加尔文操纵26人组成的法庭，秘密判决塞尔维特火刑。1553年10月27日，塞尔维特被押往日内瓦南面的尚贝尔山活活烧死，死前被残忍地用火烤了近半个小时。

1603年，意大利医生法布里修斯（1537—1619）发现人体静脉壁有许多仅能单向打开的小瓣膜，它们使血液只能沿着回到心脏的方向流动。如果血液逆流，瓣膜就会立即关闭。

1616年，英国医生哈维（1578—1657）发现了血液循环的完整过程。并于1628年出版《心血运动论》一书，详细地论述心脏功能和血液在人体中循环运动的规律，为医学奠定了最重要的生理学基础。



此前，人们一直相信罗马帝国的御医盖伦（130—200）关于人体血液的理论。盖伦出生在希腊，曾做过斗兽场的外科医生。他认为，人体肝脏产生的血液，通过静脉的潮汐运动到达心脏，心脏使血液进

◀ 17世纪意大利帕多瓦大学的露天解剖教室

入动脉被人体吸收。1400年来，盖伦的学说一直被奉为医学经典。

然而，哈维通过对心脏的解剖研究，发现心脏是由四个小室构成的空腔，两侧上下腔之间由瓣膜相连，而左右腔互不相通。从静脉流入心脏的血液不可能直接进入动脉。他测量了人体心脏的实际体积，发现心脏可以容纳的血量最多只有0.5升左右。如果每次心脏搏动排出0.2升血液，以每分钟搏动72次计算，1小时排出的血液大约有864升，已经超过了普通成年人的体重，人体不可能在1小时内造出如此多的血液（人体全部血液大约5升左右），因此他判断血液应该在人体中循环流动，而心脏的作用相当于一个泵。

在《心血运动论》中，哈维陈述了这样的景象：人体的血液由静脉流入心脏右上方的小腔（现在称为右心房），通过下方的瓣膜进入右下方的小腔（右心室），右心室肌肉收缩时推动血液流入肺动脉进入肺部，这时上方的瓣膜关闭。从肺部回流的血液又进入心脏左上方的小腔（左心房），通过瓣膜进入左下方的小腔（左心室）。左心室肌肉收缩，推动血液通过主动脉流向全身，这时，上方的瓣膜关闭，防止血液回流到左心房。心脏就是这样周而复始地工作，实现人体的血液循环。

当时，哈维不能解释的是，在人体内，流入动脉的血液如何进入静脉。直到1660年，意大利医生马尔比基（1628—1694）在显微镜下发现，密布于人体的毛细血管把动脉的末梢与密如蛛网的静脉连接起来，才最终完整地阐释了人体血液循环的全部过程。血液循环的发现，标志着近代医学的诞生。基于这一重大发现，与人类健康相关的新药物与医疗技术新发明相继出现。

这时，一件科学仪器把医学和生命科学推向新的领域，它就是显微镜。显微镜帮助人们发现了从未见过的微小世界。在显微镜下，世界变得比望远镜里的星空更加不可思议，更加复杂。人眼的分辨极限大约是0.2毫米左右，最小只能看清发丝一般粗细的物体，而显微镜使人眼的分辨能力提高了数百倍。

最早的显微镜出现在1590年，与第一架望远镜问世的时间相近。但是由于显微镜片磨制极为困难，它的焦距很短，光像常常产生严重的变形，直到60多年以后显微镜才进入实用阶段。1665年，英国物理学家胡克发表其在显微镜下观察昆虫和植物组织的结果，并且首次使用了“细胞”一词。此后不久，荷兰科学家斯旺麦丹（1635—1703）采集了3000种昆虫标本，在显微镜下进行仔细观察，而且还在显微镜下进行昆虫解剖研究，为现代昆虫学奠定了基础。他利用显微镜还发现，以往被人们认为“生命自然产生的地方”都有肉眼看不见的小卵，指出生命不可能“无中生有”。

1675年，出生在荷兰的“业余”科学家列文虎克（1632—1723）用其磨制的单镜头显微镜在一滴雨水中看到了单细胞原生动植物。他磨制镜片的技巧高超，磨制出的镜片能



▲早期的显微镜，采用了巧妙的办法用辅助光源照亮被观察的物体

将物体放大280倍。1683年，列文虎克从自己的牙齿上随意取了一点食物残渣在显微镜下观察，发现了比原生动物还要小的细菌。1688年，他在显微镜下看到了人血和哺乳动物血液中的红血球。

细胞的发现使人类找到了生命活动的基本单元，细菌的发现则使人类看到了许多种隐形致病元凶的真身。显微镜的发明对生命科学和医学的进展，具有不可估量的意义。

当人们专心研究地上事物的时候，有一个英国人在沉思：天上的星星是否也遵循地上物体运动的规律？如果有普遍遵循的规律，这个规律是什么？

这个人就是后来发现物体运动定律和万有引力定律的物理学家艾萨克·牛顿。

牛顿认真分析了意大利物理学家伽利略关于物体惯性和自由落体的研究结果，他想象月亮之所以不即不离周而复始绕地球运动，应该有一种来自地球的吸引力约束它。地球吸引一切物体落下的力量，会延伸到遥远的空间作用于月球，就像用绳子一端系着一块小石头，手握绳子的另一端甩动绳子，石头就会做圆周运动一样。其实在牛顿之前，已经有很多人产生过类似的联想，但是他们都没有回答这种力有多大？服从什么规律？这种思考仅仅限于哲学的范畴。

牛顿注意到，伽利略曾经测量出在地球表面物体自由下落时，在重力作用下产生的加速度与高度有关，海拔愈高，重力产生的加速度愈小。这表明地球对物体的吸引力，随着物体到地心距离的增加而减少。在一部古希腊天文文学文献中，牛顿注意到天文学家希帕恰斯（前190—前125）曾经根据月全食地球阴影掠过月面的时间，估算出月球到地球的距离是地球半径的60倍，地球的引力使月球产生的加速度，应该比在地球表面的重力加速度小得多。

牛顿的数学修养很深，尤其擅长运用几何与代数相结合的计算方法（今天人们称之为解析几何学），根据希帕恰斯得到的月地距离的数据和月球绕地球运动一周所需要的时间（27天7小时43分），计算出地球的引力使月球产生的加速度，正好是地球表面重力加速度的 $1/3600$ ，3600正好是60的平方。这种巧合，使牛顿作出一个大胆的假定：任何两个物体之间都存在相互吸引的力量，引力

细胞的发现使人类找到了生命活动的基本单元，细菌的发现则使人类看到了许多种隐形致病元凶的真身。显微镜的发明对生命科学和医学的进展，具有不可估量的意义。

的大小与这两个物体距离的平方成反比。牛顿还提出另外一个假定：力是引起物体运动的原因。物体受力运动时遵循一条简单的规则，力等于质量乘以加速度。

根据这两条假定，牛顿运用自己创造的数学方法，成功地解释了被称为天体运行之谜的开普勒行星运动三定律。基于这两条假定，牛顿计算出的水星、金星、火星、木星和土星的运行轨道，与天文观测的结果完全符合。

牛顿上述研究工作是从1666年开始的，20年之后他建立了自己的理论体系。1687年，牛顿《自然哲学的数学原理》一书出版，全面阐述了他所发现的关于宇宙间物体运动和相互作用力的规律，把早年的两条假定变成了四条定律。前三条说明力如何改变物体的运动状态，第四条以数学形式表述存在于一切物体之间的引力（简称万有引力）。

关于运动的三条定律是：

1. 物体在不受外力作用的情况下，保持匀速直线运动；
2. 外力引起物体运动状态改变，力等于物体质量与加速度的乘积；
3. 当物体相互作用时，作用力和反作用力分别施加在两个不同的物体上，大小相等，方向相反。

万有引力定律是：任何两个物体之间都存在相互吸引力，力的方向在这两个物体各自质量中心的连线上，力的大小与这两个物体质量的乘积成正比，与距离的平方成反比。

运用牛顿理论，人们虽然能够满意地解释许多与运动和力相关的自然现象，能够用严密的数学方法推算出神秘的开普勒行星运动三定律，但人们还是不相信自然界有如此简洁普遍的规律。

1727年牛顿去世。后来发生的三件事，最终消除了人们对牛顿力学提出的天体运行规律的疑虑。



17世纪，人们已经注意到钟摆摆动的周期（摆动一次的时间）在接近地球赤道的地方会变长，而在靠近两极的地方会变短，就是说，地球的引力在赤道附近略有减少，而在两极附近略有增加。人们推断，如果牛顿万有引力定律是正确的，那么，地球的形状不应该是一个理想的球体，它应该更像一个橘子，赤道附近向外凸出。

1735年，法国科学院命两支考察队分别到秘

◀ 牛顿发明的反射望远镜，这件发明减小了透镜的像差，缩短了望远镜的长度

鲁临近赤道的地方和北极圈附近斯堪的那维亚半岛北部的科普兰，精确测量地球子午线上1度的弧长，因为它能够表明地球的形状变化。如果地球确实在赤道附近向外凸起，子午线1度的弧长会减小；如果地球在两极附近变得扁平，子午线1度的弧长就会增大。1738年，北线考察队公布了在北极圈附近的测量结果，子午线上1度的弧长与其在巴黎的值相比，大约增加了 $7/1000$ ；1745年，南线考察队公布了在赤道附近测量的结果，确实比巴黎的值小。两队的报告都以《地球的形状》为题，证明地球确实是扁的。

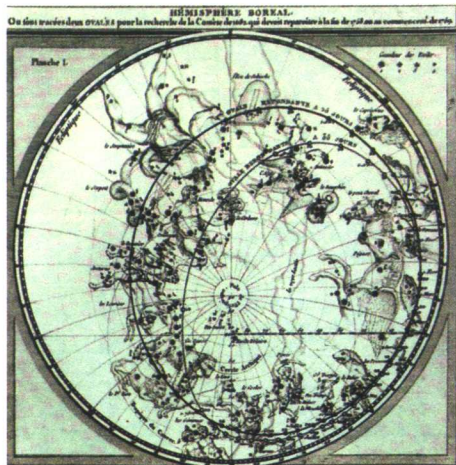
牛顿在《自然哲学的数学原理》第三卷中曾经提到，有的彗星也按椭圆轨道运行，由于它们距离地球非常远，因而只有当它们距太阳最近的时候才能被人们看见（这样的位置称为“近日点”）。1705年，英国天文学家哈雷（1656—1742）用牛顿提出的理论分析几颗最亮的彗星的天文观测数据，发现1682年出现的那一颗与1607年、1531年出现的十分相似，它们都按照扁长的椭圆轨道运动。这些椭圆具有极为相近的共同特征，他推断它们应该是同一颗星，并预言下一次它将在1758年出现。他说：“如果1758年它果然再现，后代人应该记住，发现它的功劳应当归功于牛顿。”

1742年哈雷去世，曾经参加斯堪的那维亚半岛北部子午线长度测量的法国天文学家

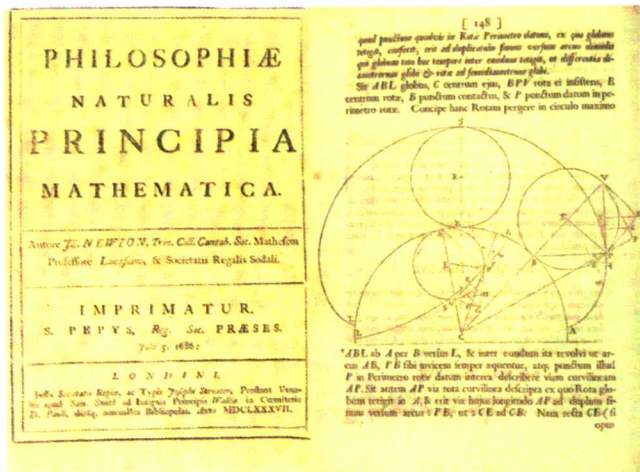
人们惊奇地看到，地上的尘埃和天上的星星居然遵从共同的运动法则。科学不仅帮助人们理解自然现象，而且有可能预见自然界将会发生的现象，并赋予人们前所未有的能力解决面临的实际问题。神学在科学面前黯然失色。

克莱罗，按照牛顿提出的方法精心计算，预测1705年哈雷预言过的这颗星，将于1759年4月中旬重新出现在天空（到达它的“近日点”）。1759年3月14日，人们在克莱罗预指的天空方位发现了这颗星，与这位天文学家预言的时间仅差一个月。后来，人们建议把这颗星称为“哈雷彗星”。1835年、1910年和1986年，哈雷彗星都准时再现，科学家预计它下次出现的时间将是2061年。

正确的科学理论不仅应该合理地解释已经观察到的自然现象，还应该预见未来将会发生的事情。1845年，牛顿的理



▲ 天文学家画出的1759年哈雷彗星回归时两条可能的轨道



▲《自然哲学的数学原理》一书封面和书中的一页

与实际观测不符。有两个人认真分析了理论计算值与天文观测数据的差异，此后各自独立地提出：可能存在另一颗行星，它的引力干扰了天王星的运动，并且算出这颗想象中的行星的质量和轨道。他们中的一位是英国大学生亚当斯（1819—1892），另一位是法国天文学家勒威耶（1811—1877）。勒威耶把他的计算结果告诉了柏林天文台，1846年9月23日夜间，柏林天文台在勒威耶预言的方位发现了一颗新行星，天文台的工作人员以平静的语气告诉勒威耶：“先生，您说的那颗星，它在那儿。”这是天文学史上第一颗通过理论计算发现的行星。天文学家以希腊神话中一位神的名字为它命名，称为“海王星”。海王星的发现，是牛顿力学和万有引力定律最有力的证据。这时，牛顿离开人世已经119年。

20世纪初，美国天文学家洛威耳根据类似的计算，预言海王星之外还应该有一颗行星，后来也被天文观测证实，这颗行星被称为“冥王星”。2006年，这颗绕太阳运行的星被称作“类行星”。

牛顿使人类对自然的认识达到前所未有的高度。人们惊奇地看到，地上的尘埃和天上的星星居然遵从共同的运动法则。科学通过细致的观察实验与严密的逻辑推理，揭示出自然界普遍存在的规律。科学不仅帮助人们理解自然现象，而且有可能预见自然界将会发生的现象，并赋予人们前所未有的能力解决面临的实际问题。

人们把1687年牛顿《自然哲学的数学原理》一书出版，作为近代科学诞生之年。近代科学的诞生，成为人类发明活动的分水岭。■

论再一次经受科学的检验，科学家利用它预言一颗行星的存在，天文学家的观测结果证实了这一预言。

1781年3月13日，赫歇尔（1738—1822）用望远镜偶然发现了太阳系的第六颗行星——天王星。人们用牛顿力学计算天王星的轨道，预报它的位置，但是总

正确的科学理论不仅应该合理地解释已经观察到的自然现象，还应该预见未来将会发生的事情。

八 机器登上历史舞台

在18世纪的欧洲，人们造出一种奇特的机器，能够把燃烧的煤变成强大的动力。由于这项发明，人类开始步入工业社会。

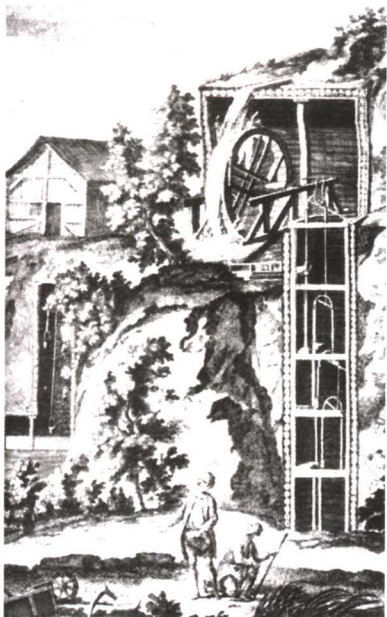
人类渴望力量，因为它意味着财富和安全。人类发明活动的一条重要脉络，是利用自然的力量使自身从沉重的体力劳动中解脱出来，并且期盼获得比体能更加强大的力量。

人们一直在利用畜力、风力和水力，然而这三种力量都不理想。一头牲畜的力量只不比人大几倍，而且吃得比人多；风力主要用来帮助行船，而在人们居住的地方，风力往往很不稳定，许多劳作指望不上它；水力受地理条件限制，远离河流便无法使用，且枯水和洪水都会带来麻烦。在漫长的岁月里，人作为劳动者的价值，主要在于体能。人类体能的局限，在相当大程度上制约了生产力的发展，数千年间，居住在世界各地的人们，都只能从事传统农业和比较简单的手工业活动。

从17世纪开始，人们寻找自然力的目光开始投向加热的水蒸气，这种努力后来获得了意想不到的结果。

史料记载，最早涉入这个新领域的是一位学者。1606年，意大利学者波尔塔（1538—1615）在他撰写的《灵学三问》中，论述了如何利用蒸汽产生压力，使水槽中的液位升高。还阐述了如何利用水蒸气的凝结产生吸力，使液位下降。

人类发明活动的一条重要脉络，是利用自然的力量使自身从沉重的体力劳动中解脱出来，并且期盼获得比体能更加强大的力量。



▲17世纪欧洲利用水力提升采掘出的煤，如果煤矿附近没有可利用的水力，生产成本会非常高

1615年，法国一位名叫斯科的花匠描述过如何利用蒸汽的压力建造一座供观赏的人工喷泉。他在蒸汽锅炉中插进一根两端开口的管子，下端差不多插到锅炉底部，上端开口处有一个水龙头。当蒸汽压力升到足够高的时候，突然打开水龙头，水柱会喷到很高的地方。

1629年，意大利建筑师布兰卡（1571—1640）描述过他设计的用蒸汽带动铁锤的装置。在这种装置里，喷出的蒸汽冲击嵌在转轮上的叶片，使它高速旋转。转轮通过减速齿轮带动连杆，使铁锤反复锤打工件。由于这台机器过于复杂，加工质量不高而未能应用。

意大利物理学家托里拆利在1643年发现大气压力之后，加快了这种探索的进程。1654年，德国发明家盖里克进行公开科学表演，在一个直径50厘米的汽缸里装上可以自由移动的活塞，汽缸与抽气机相连。开始抽气的时候，

大气的压力使活塞下移，与活塞相连的绳子通过滑轮拉动了50名壮汉。

1680年，荷兰物理学家惠更斯在当年盖里克用过的那种带活塞的汽缸里，放上少许炸药，在活塞推向汽缸底部的时候突然引爆炸药，膨胀的气体迅速把活塞推向上方。他期待爆炸过后热气冷却，汽缸里形成真空，大气压力会重新把活塞推向下方。然而实验不成功，活塞并不下移，因为爆炸之后残留的气体充满汽缸，抵消了大气的压力。作为物理学家的惠更斯，当时可能并不了解爆炸伴生的化学反应过程。

然而，这次不成功的实验激发了一位年轻人的灵感。他把炸药换成水，当活塞接近汽缸底部的时候，从汽缸外部加热使水变成蒸汽，水变成蒸汽的时候，体积增大2000倍，水蒸气膨胀产生巨大的压力使活塞向外移动；然后再用凉水冷却汽缸，使蒸汽凝结成水，形成真空，大气的力量便迅速地把活塞压向汽缸底部。他采用的活塞直径7.6厘米，经测量，蒸汽冷凝时空气在活塞上产生的推力可达45千克。如果反复加热、冷却圆筒，活塞能够往复运动推动物体，像一个不知疲倦的大力士。

这位年轻人是惠更斯的助手、法国物理学家帕潘（1647—1712）。1690年，帕潘在法国科学院的刊物上，用拉丁文发表了这项研究结果。在描述这项实验之后，他提出

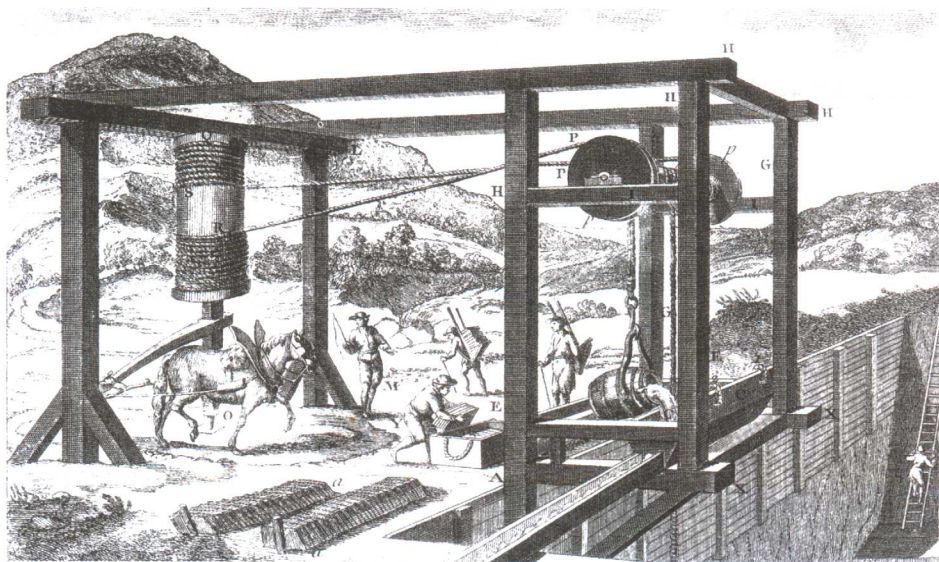
采用这种方式，可以从深井里抽水、吊起采掘的矿物、推动炮弹，还可以推动船只前进而不再需要帆。1695年，这篇论文有了法文译本。英国《伦敦皇家学会哲学学报》1697年3月号，刊载一篇评述这篇法文译本的文章，特别强调了它的实用意义，尤其是用于矿井排水。

帕潘早年学习医学、数学和物理学，曾帮助英国科学家波义耳改进真空泵，并于1679年发明了高压锅。这是一种锅盖扣紧后不能随便打开的锅，加热时，锅里蒸汽的压力会比外面大气的压力高，在这种锅里，水的沸点会高于100摄氏度，食物很容易酥软熟烂（今天人们不仅用它蒸煮食物，许多医院都用这种锅为手术器械、纱布和棉花灭菌消毒）。在发明高压锅的过程中，帕潘经常遇到食物从锅里喷出和冷却后打不开锅盖的情况，使他对热蒸汽的力量和大气的压力有极为深刻的印象，产生了用它们获得动力的想法。

差不多与此同时，一位比帕潘小三岁的英国军事工程师托马斯·沙弗瑞（1650—1715），利用水蒸汽和大气的力量，成功地制造出用于矿井抽水的实用机器，并以“火力机器”的名称申请了专利。

沙弗瑞的这项发明是一架看起来不动的机器，核心部分是一个烧蒸汽的锅炉和一个空铁柜，由一根管道把蒸汽送进铁柜，另一根管道使铁柜与矿井底部的积水相通。两根

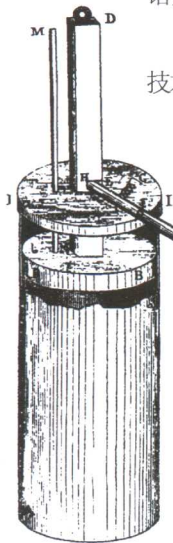
▼采用畜力为矿井抽水的场景，这是法国学者狄德罗在18世纪编纂的《大百科全书》中的一页，它真实地描绘了当时欧洲的普遍情景



管道中都设有阀门，机器工作的时候，首先打开第一根管道中的阀门，蒸汽进入铁柜，驱走柜内原有的空气，然后关闭阀门，用水淋浇铁柜外壳，使蒸汽凝结造成真空；这时打开另一根管道中的阀门，在大气压力作用下，矿井中的积水通过管道被吸进铁柜；最后关闭阀门，打开铁柜底部的排水阀，放出进入铁柜中的水。只要周而复始地开启、关闭阀门，冷却铁柜，矿坑中的积水就在水蒸气和大气压力的共同推动下，由低处流向地面以上的地方。这是人类第一次成功地利用蕴藏在煤中的能量产生自然力，代替人的体力劳动。

沙弗瑞在销售这种机器的时候，称它为“矿工之友”。沙弗瑞的广告词写得十分优美，现在人们还保留着其中的一段：“沙弗瑞上尉的发动机可以运用火力提升任何合理数量的水到任何高度，它现在已臻完美，随时可作公用；所有被积水困扰的矿山和煤矿主们请注意，只要装备了这种发动机即可排空积水。在伦敦索尔兹伯里宫广场正对着老剧场的地方是他的工作室，可以在每个星期的星期三和星期六下午3点~6点看到这种发动机的工作情况，其表演肯定能让你感到满意，费用比任何其他用马或人工的方法更为节约，而且不需修理。”

沙弗瑞的机器虽然省力，但因制造工艺不精而多处漏气，提水只能提到7.6米高（从理论上讲，可以提到10米），因其工作效率低，当时主要用作城市供水。沙弗瑞发明的机器是间断工作的，为了获得连续的动力，人们还想出一个办法：先用它把水抽到一个高处的贮水池里，再让水流下来推动旋转的轮子，通过齿轮和皮带驱动其他装置，诸如磨面、鼓风和切削金属零件等。



沙弗瑞学识渊博，在很多领域都能产生新思想。他出版过一本论述航海技术进步的书，翻译过德文版《防御工事建造论》，获得过关于玻璃抛光机的专利。他曾经建议，将不停旋转的桨轮装在船体两侧代替风帆，为此，他被认为是在发疯，险些被取消军官头衔。

得知沙弗瑞成功的消息，帕潘与他合作，用蒸汽推动汽缸中的活塞往复运动而取代原来的铁柜，做成一部能够运动的机器，用来驱动沙弗瑞曾经设想过的桨轮（安装这种桨轮的船只，后来又称“明轮”船，意思是在水面上可以看见轮子）。这是人类历史上第一次用机器驱动的船，它曾在泰晤士河上航行，然而，在驶往目的地的途中，水手们因担心失业而砸坏了用作动力的机器。

◀ 帕潘向法兰西科学院演示的蒸汽动力活塞样机

1712年，帕潘在穷困中死去；三年之后，沙弗瑞亦随之而去。

帕潘和沙弗瑞的探索，使人们看到以新的方式利用自然力的前景。1712年，亦即帕潘离世的那一年，英国人托玛斯·纽考门（1663—1729）发明了可以连续工作的实用蒸汽机。在此之前，他曾与沙弗瑞合作改进蒸汽机。

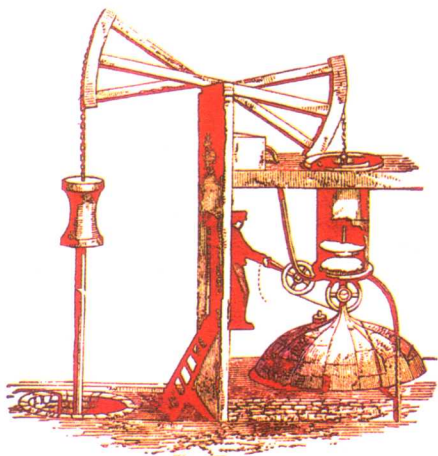
纽考门蒸汽机的核心部件，是帕潘发明的蒸汽活塞，然而纽考门改进了活塞的工作方式，不直接加热装有活塞的筒中的水，也不在活塞筒外面浇水冷凝蒸汽，而是用一个持续燃烧的锅炉通过阀门向活塞筒注入蒸汽，用另一个阀门控制冷却水，使之周期性地直接进入活塞筒使蒸汽快速凝结，形成真空获得大气压产生的推力，从而加快活塞动作的速度。

第一台纽考门蒸汽机的活塞直径比帕潘当年的样机直径大8倍，达53厘米，这台蒸汽机的推力超过1700千克，相当于20个人的力量。

为了让蒸汽机连续动作，纽考门设计了一个活动的连杆，将中点固定在支架上，一端连着抽水机，另一端连着蒸汽活塞。当蒸汽冷凝时，大气推动活塞下移拉动连杆上提抽水；而当活塞下行到极限位置时，抽水机部件本身的重量使连杆下落提起活塞；这时打开阀门向汽缸送入蒸汽，并随即开启冷却水阀，蒸汽凝结，活塞下行，再次抽水。由于两个阀门由连动机构巧妙地控制，蒸汽机可以连续动作，活塞每分钟能够上下移动12次。

纽考门的机器又称大气压力发动机，只需把受热的水蒸气送入活塞筒，冷凝时形成真空，利用大气产生的压力令活塞做功即可。纽考门未曾读过大学，一直做铁匠兼营五金生意。由于经常去煤矿推销产品，他对煤矿使用的机器十分熟悉，深知抽水机对煤矿的重要性。他曾与沙弗瑞合作，因此了解帕潘的构想。后来，他与另一个也未曾读过大学的管道工合作，设计研制了这种新的蒸汽机，迈出了蒸汽动力实用化重要的一步。

然而，纽考门蒸汽机有两大缺点，一是效率低，工作时太费煤，其消耗的煤只有1%产生了动力；二是力量不够大，而且只能不紧不慢地做往复直线运动，无法带动其他的机器。幸好当时欧洲的煤十分便宜，而且它能使人们开采淹没在水中的煤，因此人们还是很乐意使用它。那时英国许多煤矿因为无法排水而关闭，当时排



▲ 纽考门蒸汽机示意图，操作者必须不停地开启、关闭蒸汽阀门

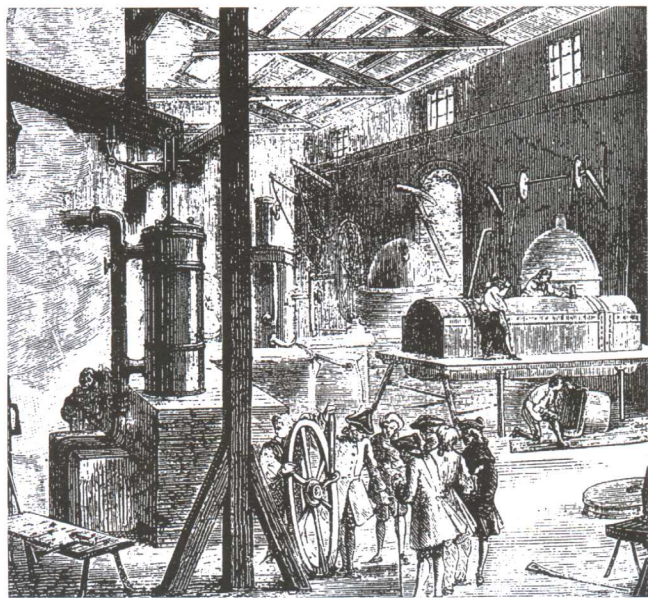
水唯一有效的方法，是从矿井里再挖掘流向更低处的排水暗渠，有的暗渠长达100多千米。当时英国政府授予的专利中，有1/7是关于煤矿排水的。纽考门赶上了最需要抽水机的时候。

这种机器在1712年问世之后，首先用于英国斯塔福德煤矿排水；三年之后，纽考门蒸汽机越过英吉利海峡进入欧洲大陆。1715年开始在德国使用；1717年开始在俄国使用；1722年开始在奥地利维也纳使用；1725年开始在法国巴黎使用；1727年开始在北欧的瑞典使用，主要用来排除煤矿坑道积水，偶尔也作为城市花园人工喷泉的动力。历史上从未有一件发明像纽考门蒸汽机这样，虽不完善却能够在15年之内几乎传遍整个欧洲。它表明了人们对动力的渴望。

1740年，这种蒸汽机长度已经达到2.74米，活塞直径达76厘米，它在一天内完成的排水工作量要25个人一周才能做完。18世纪后半期，纽考门蒸汽机已经开始在欧洲替代那些古老的利用风力和水力作为动力的装置。

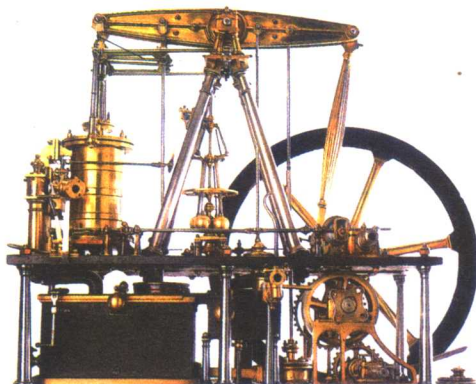
1755年，俄国改建喀琅施塔德军事要塞，人们用一台大功率的纽考门蒸汽机，在两星期之内便抽干了船坞中的积水。而在这以前，利用大风车带动抽水机完成这项工作则要一年时间。

公元1777年，一位英国机械师对纽考门蒸汽机作出重大改进，显著提高了它的效率，他就是詹姆斯·瓦特（1736—1819）。



瓦特注意到纽考门蒸汽机费煤的原因，在于需要不断冷却汽缸又要利用蒸汽重新加热汽缸，无谓地消耗了热量。他设计了一个置于汽缸之外的冷凝室，通过管

◀ 18世纪伦敦一家采用蒸汽动力的工厂生产场景，左面方形锅炉上的圆筒是蒸汽机的汽缸，活塞产生的动力通过高架上的皮带轮传送到各处。人们聚在一起讨论问题，生产照常进行



▲ 旋转式瓦特蒸汽机，图中可以清晰地看到巨大的飞轮、灵巧的调速器和复杂的齿轮传动机构

道与汽缸连接，汽缸则用保温材料包起来一直处于高温状态。需要让蒸汽凝结的时候，开启冷凝室阀门，汽缸内部成为真空，活塞在大气压力作用下运动，使蒸汽机效率提高了3倍。

这是一项需要深厚科学基础的创意。实际上，瓦特利用了法国物理学家帕斯卡在一个世纪以前发现的流体静压均衡原理。在静止的流体中（蒸汽也是一种流体），压强处处相同，外部冷凝器中的压强等

于汽缸中蒸汽的压强，至于在什么地方冷凝则无关紧要。由于人们没有依据早已发现的物理学原理思索问题，使蒸汽机的这项重大改进延迟了65年。

当时英国工科大学与生产实际联系紧密，煤矿采用的纽考门蒸汽机已经列入课堂教学。1765年，瓦特在英国格拉斯哥大学担任仪表工，修理纽考门蒸汽机教学模型时，想到了上述方案。他在1769年申请了专利，专利名称是《一种减少“火机”的蒸汽和燃料的新方法》。

然而制作一台可以实际运转的样机，却经历了极为艰难的历程。瓦特的企业由于资金匮乏，没有钱雇用技艺精良的技工，致使加工精度达不到要求而最终倒闭，他自己则不得不靠担任河道测量员挣钱糊口。当时，他曾发出感慨：“最愚蠢的事莫过于发明了。”后来，他与一位精于营销而且手下有一批熟练技工的工厂主布尔顿（1728—1809）合伙，在1775年创立了新公司。布尔顿的商业智慧使他们的新机器卖得不错：先赊销给买主，只按照比纽考门蒸汽机节约的煤价钱的一定比例付钱，这使得人们乐于购买他们的机器。在推销这种新机器时，布尔顿用了这样的广告词：“先生，我在此卖全世界都想拥有的东西——力量。”

布尔顿的公司有财力支持瓦特继续改进和完善他的发明。至1782年，瓦特完成了对蒸汽机的进一步改进，他把原来单纯利用大气压力推动活塞的方式改用蒸汽与大气联合推动，轮流从活塞两端向汽缸送蒸汽，使活塞在两个方向都能产生推力，加大了蒸汽机的力量，提高了活塞运动的速度；通过特别设计的齿轮，利用活

在推销瓦特蒸汽机时，布尔顿用了这样的广告词：“先生，我在此卖全世界都想拥有的东西——力量。”



▲ 19世纪英国纺织厂里的童工，她身旁是蒸汽机带动飞转的无数纱锭

塞连杆的往复直线运动驱动飞轮旋转，使蒸汽机成为多种劳作的动力之源。

瓦特还发明了安装在蒸汽机飞轮轴上的离心调速器，它可以根据飞轮转动的速度，调节通往汽缸的蒸汽流量。这种调速器是两个带着小球可以升降的连杆，连杆的一端与调节蒸汽流量的阀片相连。当飞轮转速很高的时候，在离心力作用下，飞

转的小球带动连杆升高，使蒸汽管道中的阀片倾斜，阻断部分蒸汽流通，使飞轮转速下降；反之则使转速升高，从而使飞轮的转速保持恒定。从此，蒸汽机不再像喝醉酒的大力士；瓦特还为他发明的蒸汽机设计了专门监测蒸汽压力的仪表，使这些庞然大物能够安全可靠地运行，不致由于蒸汽压力过高引起锅炉爆炸。

经过瓦特改进的蒸汽机，提高了效率，可以带动各式各样的机器，而且已经具有自动化技术的许多特征。到1783年，瓦特蒸汽机几乎全部替代了纽考门蒸汽机。

就在这一年，瓦特定义了一个新的单位“马力”，用它表示蒸汽机做功能力的大小。每“马力”相当于1分钟把3300磅重物提高1英尺的能力（磅和英尺是当时英国采用的计量单位。1磅相当于453.6克；1英尺相当于0.3048米）。这大体相当于一匹健壮的马劳作时的能力，折算成今天的国际计量单位，相当于1秒钟之内把75千克重物提高1米所做的功。

此前的1702年，沙弗瑞的“矿工之友”蒸汽机功率约为1马力；1717年，纽考门为彼得堡制造的抽水蒸汽机功率为5.5马力，1778年瓦特制造的蒸汽机功率为13.8马力。当时在英国，使用马作动力的成本是人力的1/2，使用蒸汽机的成本是使用马匹的1/2，是人力成本的1/4。与水力相比，蒸汽机具有极好的机动性，工厂不再需要集中在远离城

市的河谷地带（使用水作动力，一般都在河谷地带筑坝，截断江河形成高水位人工湖泊，利用水的落差推动水轮旋转提供工厂需要的动力），加之动力成本大幅度降低，促进了英国纺织业和相关产业的迅速发展。

瓦特改进的蒸汽机，其力量和速度远远超过了人的体能极限，使人们有可能利用它进行从前无法企及的工作。它使得人作为劳动者的本质特征发生了深刻变化，劳动者的数量和体能不再成为制约生产力发展的决定性因素。采用蒸汽机的小国，国力可以超过人口众多的农业大国。这种蒸汽机最先在它的故乡英国获得应用，纺织业首先从这项发明中受益，随后在英国几乎带动了所有的产业。

英国纺织业当时正受到动力不足的严重制约，蒸汽机可以提供昼夜不停的廉价动力，工厂主以低微的工资雇用大量农民（其中许多是妇女和儿童），进入纺织厂成为城市劳工。纺织业迅速成为英国利润最高的行业，许多城市由于纺织业的兴盛急剧扩大。例如当时英国纺织业中心曼彻斯特，在1772年只有2.5万人，到1821年已迅速增加到18.1万人，1851年增加到45.5万人。79年间，曼彻斯特人口增加了18倍。蒸汽机的发明，迅速推进了英国城市化进程。

到1811年，瓦特改进的蒸汽机用于工业生产不过30年，英国从事制造业和手工业的人数，已经超过了农业人口。英国的煤产量1700年为300万吨；1800年达到3600万吨；1850年达到6000万吨，150年间增加了20倍。此时，英国的煤开始大量外销。英国的钢产量1788年为6.8万吨；1846年为200万吨，近60年的时间增加了30倍。其所增产的煤，主要用作蒸汽机的燃料；而增产的钢则主要用于制造更多的蒸汽机，以及用蒸汽机带动新产业。

1688年，英国社会总产值4800万英镑；到1841年，社会总产值达4.52亿英镑。150年间，英国社会财富增加了10倍，这在历史上从未有过。当时，专门研究蒸汽机热效率的法国物理学家、热力学的奠基人卡诺（1796—1832），曾经调侃地说道：“要摧毁英国这个庞大的帝国，就去掠夺它的蒸汽机，便是掠夺它的财富之源。”

19世纪中期，英国成为世界工业产值最高的国家。英国的这种变化，随后迅速出现在欧洲大陆的许多国家，后来又发生在美国。历史学家称之为波及全球的“产业革命”。

当蒸汽机在英国进入越来越多的工业领域的时候，人们开始尝试用它驱动车辆，因为飞速发展的工业给交通带来了巨大压力。可是瓦特的蒸汽机对车辆不适用，因为推

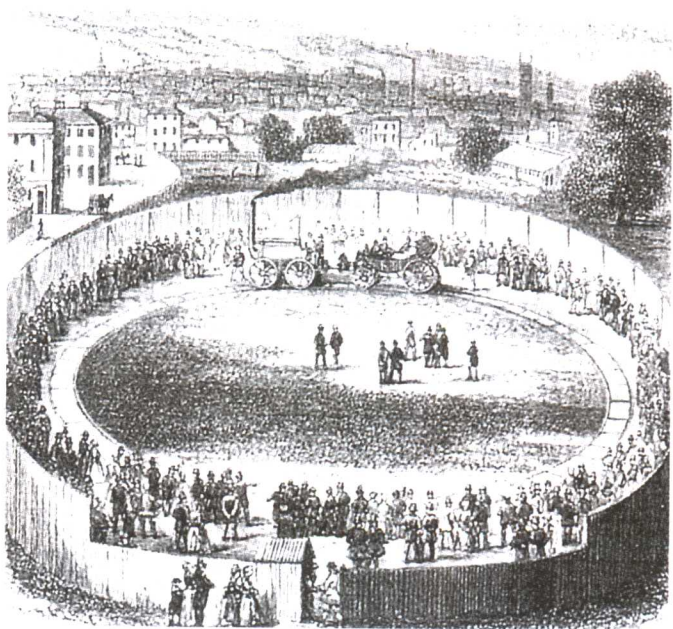
专门研究蒸汽机热效率的法国物理学家、热力学的奠基人卡诺，曾调侃地说：“要摧毁英国这个庞大的帝国，就去掠夺它的蒸汽机，便是掠夺它的财富之源。”

动活塞的蒸汽压力不高，动作不够快，体积和重量都很大，瓦特本人亦认为蒸汽机不适宜驱动运输工具。

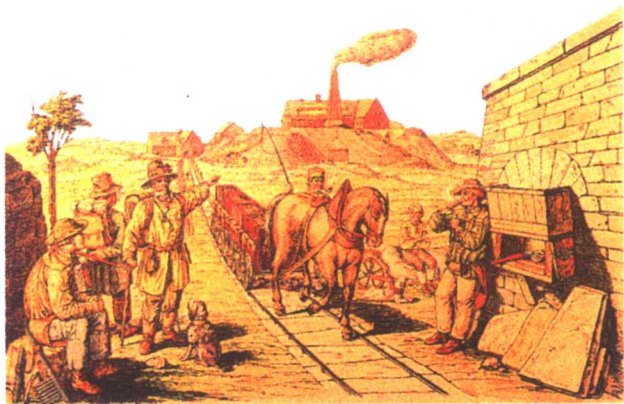
用蒸汽机驱动车辆面临许多新问题。首先，它产生的力量不仅要能拖动自身，还要牵引沉重的负荷；此外受道路限制，已有道路难以承受蒸汽车辆的重压。因此必须首先实现大功率蒸汽机的小型化。美国人伊文思（1755—1819）和英国人特里维西克（1771—1833）不约而同地想到，可以用提高蒸汽压力的办法解决这个问题。从理论上分析，如果蒸汽机汽缸容积不变，提高蒸汽温度，使蒸汽压力提高10倍，蒸汽机的牵引力就会增大10倍。产生同样的牵引力，高压蒸汽机同瓦特蒸汽机相比，重量和体积都会小得多。后来，他们两人分别在美国和英国各自制造出高压蒸汽机。

伊文思出生于美国农家，14岁时开始给修车匠当学徒。他在1789年提出高压蒸汽机的设想，并申请了“蒸汽驱动货车”的发明专利。1800年，他开始制造替代面粉厂水轮动力的高压蒸汽机。1803年，伊文思受费城政府卫生委员会委托制造挖泥船，以便迅速清除河底淤泥。他用自己的高压蒸汽机作动力制造了一艘两栖挖泥船，高压蒸汽机在平地上驱动车轮前进，在水里则转动旋桨航行，作业时可以把挖出的淤泥高高举起抛向远处。后来他还开着这台怪模怪样的高压蒸汽机车，在费城的大街上行驶了两千米。

两栖挖泥船的成功，使伊文思坚信用蒸汽动力驱动车辆完全可行。他竭力主张铺设从费城到纽约的轨道，以蒸汽机车作交通工具实现两个城市之间的快速运营。宾夕法尼亚州和马里兰州的权威嘲笑、反对伊文思的建议，行政当局否



► 特里维西克在游乐场演示自己发明的火车



▲18世纪欧洲的马拉轨道车

决了他的主张。伊文思得不到支持，但他执著地认为自己的高压蒸汽机会对人类有大用途，便贷款制造了50台。在这种机器里，汽缸中的蒸汽压力是大气压力的14倍。然而，一个对他怀有敌意的雇员放火烧掉了他的工厂，使伊文思功亏一篑。直到1830年，政府才决定铺设从

费城到纽约的铁路，而此时伊文思已离世11年。

真正使蒸汽机车在轨道上运行的第一个人是特里维西克，他是一位思维缜密的机械工程师。为了安全，他加厚了高压蒸汽机的汽缸壁，并把汽缸放进锅炉，这不仅减少了蒸汽机部件占据的空间，而且容易保持汽缸高温以获得足够高的蒸汽压力。在他的机器里，蒸汽温度达145摄氏度，蒸汽压力达每平方厘米4千克。他还取消了瓦特蒸汽机的冷凝器，让推动活塞之后的蒸汽直接排向大气。这种高压蒸汽机车在前进的时候汽缸会不断冒出白烟，并发出尖厉的嘶嘶声，人们形容这种机车像一头不断打响鼻的驴。

1804年，特里维西克设计的高压蒸汽机车，开始在英国南威尔士的工厂运送铁矿石。该车能够拉动70个人和10吨铁矿，最大时速可达8千米，行程14.9千米，它的力量比马大10倍，比马跑得快。但十分遗憾的是，当时特里维西克的机车用的是为马车准备的铸铁轨道，铁轨很脆，不久，8吨重的机车就压断了铁轨；因没有人愿意修复铁轨，特里维西克不得不终止试验。后来，他又造了一批新机车，让活塞推出的废蒸汽通过烟囱排出，加速空气对流，增大锅炉的燃烧强度，进一步提高了锅炉蒸汽的产量和活塞的工作压力，使机车行驶更快，但是仍然没有人愿意为他投资。

1808年，在伦敦尤斯登广场，特里维西克在围栏里铺上轨道，亲自驾驶这种改进的机车转着圈为观众表演。该轨道直径30米，观众乘坐一次收费1先令（英国旧时货币单位，1先令相当于1/20英镑），他把这种游戏取名为“谁能抓住我”。这位杰出的发明家只能像杂耍一样招来观众，然而，看热闹的观众反应十分冷淡。

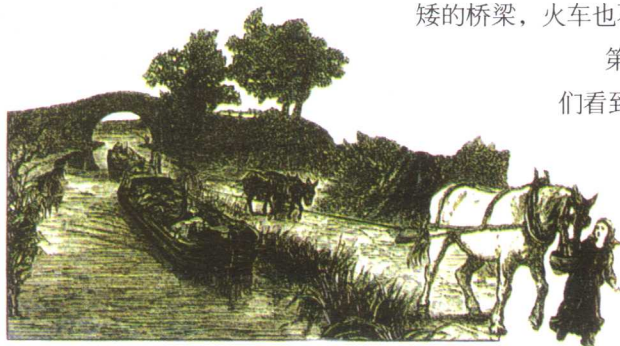
特里维西克在一连串失败和冷遇之后失去了对机车的兴趣，他的诸多天才发明无一

成为商品。1833年，特里维西克在逝世的时候已经债务缠身。

钢铁制成的蒸汽机，加上必备的煤和水，使机车非常沉重，不适合在普通的土路上行进，需要坚固结实的轨道。幸运的是，当时欧洲实际上已经为火车运输准备了必需的道路条件。

早在15世纪，欧洲的矿山已开始使用在木制轨道上行驶的马拉列车。木制轨道可以通过垫在下面的枕木和碎石，把车轮的压力均匀地分散到路基上，使车轮不致陷下去。光滑的木轨能减小与车轮之间的摩擦力，使轮子转动更加轻快；同时这种架起来的道路，在雨天还不会变得泥泞不堪。由于欧洲炼铁技术的进步，1783年以后，马拉列车的木轨相继改成铸铁轨道。

伊文思和特里维西克个人的失败造就了人类的成功。1825年9月27日，第一条公共铁路在英国北部斯托克顿至达林顿之间开通，铸铁轨道改为不容易断裂的锻铁轨道，全长16千米。当时的火车有38节车厢，既乘坐旅客也装运货物，速度可达每小时23千米。机车采用特里维西克发明的高压蒸汽机，由煤矿机械师斯蒂芬生（1781—1848）设计，并亲自担任司机。由于蒸汽机锅炉的烟囱很高，因此那时的铁路上方不能有低矮的桥梁，火车也不能穿过隧道。

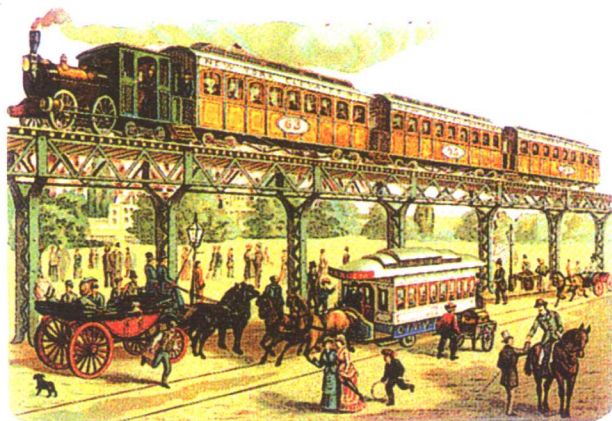


发明家个人的失败造就了人类的成功。

第一条铁路的成功营运，使人们看到了它巨大的商业利益。四年之后，英国建成了利物浦到曼彻斯特之间的铁路。

当时已经有很多厂家利用高压蒸汽机设计制造

◀ 18世纪欧洲的马拉船



▲ 火车到达芝加哥城，为了给马车让道，火车只能在高架上行驶

爱尔兰作家拉德纳尔，曾告诫人们不要乘坐火车，他写道：“乘火车旅行是不可能的，因为乘客会因不能呼吸窒息而死。”

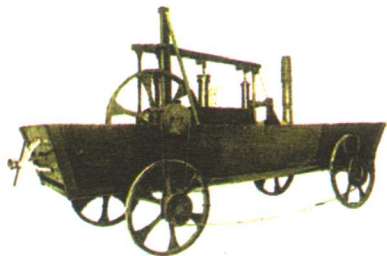
机车，1829年10月6日，在利物浦附近的一段铁路上曾进行过一次机车竞赛：选拔最适合运行的机车。那天有五辆机车参与竞争，斯蒂芬生的机车也在其中。他的机车采用了三项新技术：火焰直接加热25条注水的铁管产生蒸汽，做成燃烧效率很高的锅炉；在锅炉上加装安全阀，当蒸汽压力过高时自动放气减压，防止锅炉爆炸；机车采用凸缘车轮，从两边卡在铁轨的内侧，防止快速行驶时出轨。竞赛中，有一辆机车因为在驾驶室里藏有一匹马，以马踏转轮为机车助力被取消资格；有一辆的汽缸破裂中途抛锚；有一辆的锅炉爆炸，而斯蒂芬生驾驶的火车以接近每小时50千米的速度拖动重14吨的货物率先到达终点，比另一位参赛者快了一倍。

1830年9月15日，利物浦至曼彻斯特的铁路正式开通，斯蒂芬生驾驶自己设计的机车牵引列车。这天，万人空巷，盛况空前，英国首相也坐在车厢里，然而意外事件不断发生。火车行进中轧死了一名保守党议员；快到终点时又被暴徒砸毁了一节车厢。

在此之前，爱尔兰作家拉德纳尔（1793—1859）曾经告诫人们不要乘坐火车，他写道：

▼20世纪初，强大的蒸汽动力激发了人们砍伐美国加州红松的狂热，这幅照片记录了这些千年古树被肢解后离开故土的情景





▲美国发明家伊文斯制造的两用蒸汽船

美国发明家富尔顿曾建议法国制造蒸汽船打败英国海军。拿破仑冷冷地说：“在甲板上升一堆火，噗哧噗哧冒着烟去打仗，笑话！”

“乘火车旅行是不可能的，因为乘客会因不能呼吸窒息而死。”

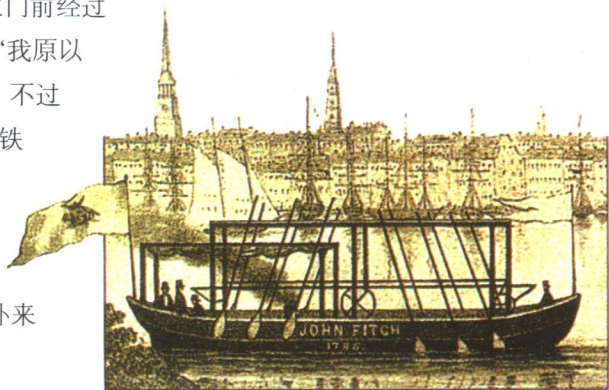
铁路发展的速度完全超出人们的预料。到1850年，英国参与修建铁路的工人已达25万人，铺设铁轨的长度达1.1万千米。在比利时，几乎所有大城市都有铁路贯通。这时美国铺设的铁路，总长度已超过其他所有国家的总和。美国通过修建铁路开发辽阔

的西部，使大西洋沿岸的东部经济区与太平洋沿岸连接在一起。英国在已有的城市之间修建铁路，而美国新建的铁路线上则出现了新兴的城市。

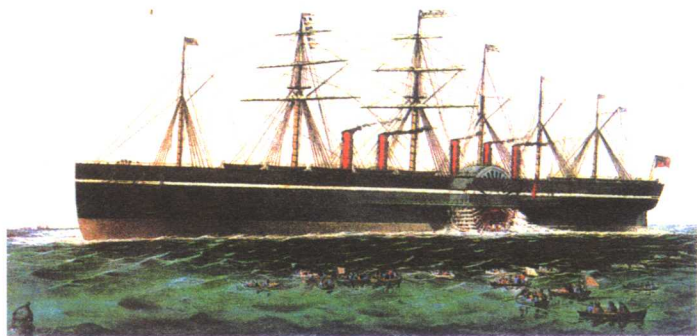
随着铁路长度的增加，蒸汽机的功率迅速提高。1812年，特里维西克用于拖动车辆的高压蒸汽机车功率约为50马力，1876年，在美国费城举办的世界博览会上，英国展出的蒸汽机车单台功率已经达到2500马力。60年间，单台机车的功率增大了50倍。

火车的发明，使人类能够以前所未有的速度和规模，改变自身和物质财富的空间位置，地域和距离不再成为制约人类活动的重要因素。人们交流交往迅速增加，社会生活节奏加快。从前欧洲人一生中活动的平均半径不到25千米，有了铁路之后，当天就可以到达500千米以外的地方。

历史上还没有哪件发明，能够像火车那样广泛深刻地影响人类的活动方式。一位社会学家在谈到铁路对普通人的影响的时候，讲了一个故事：当美国新修的铁路穿过西部时，一位农民打量着他家门前经过的铁路，不以为然地说：“我原以为它是什么了不起的东西，不过就是两根躺在木头上的铁条。”然而他不知道，从此他的农产品可能会在另外的地方卖个高价钱，也可能当晚就会面对外来



►菲奇发明的双排竖桨蒸汽动力船



▲在大海上航行的“大东方号”，船身的后部有一对明轮，只在无风的时候用蒸汽机推动，使用风帆时，明轮卸下来放在甲板上

农产品的竞争。他的女儿可能会嫁到很远的地方，他自己说不定会在千里之外找到一个更好的职业。

1797年出版的《不列颠百科全书》中关于航海的条目写道：

“在18世纪，船舶的发展没有出现突破性进展。如此重要，而又如此落后。”就在这部百科全书出版的时候，蒸汽机正在使造船业和水上交通发生深刻的变化。铁路尚未修建的时候，人们已经向往用蒸汽动力驱动船舶。

用蒸汽机开船遇到的问题，一点也不比用蒸汽机开车少，而且更加冒险。从18世纪初开始，到1807年美国发明家富尔顿（1765—1815）在美国纽约哈德孙河上开通第一条轮船客运航线为止，其间研制过蒸汽动力船的人不少于10位，然而，他们大多以失败告终。

1786年，美国发明家菲奇（1743—1798），制造出一艘用蒸汽机带动12只垂直桨划水的船，船的两侧有高高的架子，每边装有6只垂入水中的桨，蒸汽机活塞带动架子上的横梁往复运动，这些桨便像巨大的鸭蹼不知疲倦地划水。这条船长13.7米，船身细长，就像印第安人的独木舟。当时，美国有五个州的立法会议员代表在观看过这艘船的行进演示后，同意给菲奇14年特权垄断经营蒸汽船，于是商人开始给菲奇投资。菲奇制造了三艘可以载人装货的蒸汽驱动明轮船，船的两侧各有一只像水车一样翻动的轮子，固定在轮子端部的横板周而复始地划水推动船身前行。

1790年夏天，菲奇在特拉瓦河上开辟航线，开始在美国费城到特雷顿之间客运。然而，坐船的乘客非常少，以致入不敷出，航行中蒸汽船又经常出现故障，甚至有时停在航道上动弹不得。这时，船员们纷纷离开菲奇，投资商也撤回资金并向他追债，航运被迫终止。余下的船均在风暴中损坏，菲奇不得已而流落他乡，希望在法国巴黎重新开始蒸汽船的事业。1795年，菲奇设计的蒸汽动力船获得了法国专利，不巧正赶上法国大革命爆发，人们没有心思制造蒸汽船。菲奇在巴黎衣食无着，只好给一艘帆船的船主当水

铁制的蒸汽动力船，将那些被海洋分割的陆地越来越紧密地联系在一起；它装载着货物也装载人类的欲望和野心，频繁地穿梭于大洋之上，深刻而持久地改变了地球各大洲之间的相互关系，也改变了世界格局。

手，并借此再渡大西洋回到美国。不久，他服安眠药自杀。菲奇的女儿为父亲立了一块非常小的墓碑，没有说他是发明家，只说他是“一位参加过独立战争的老兵”。

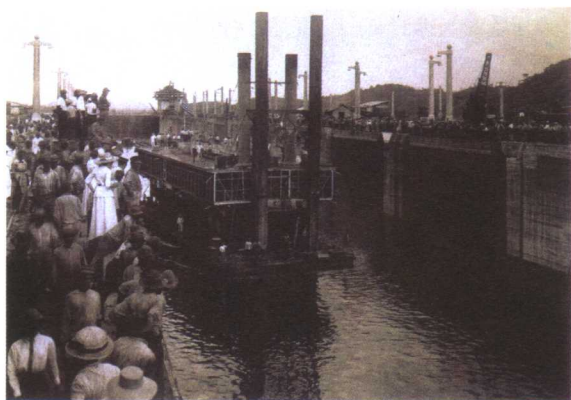
1802年，英国发明家赛明顿（1763—1831）制造了一艘蒸汽动力船，用它在运河上装运货物。当货运业主们知道这一消息后，唯恐蒸汽船抢走他们马拉船的生意，便制造舆论说：“蒸汽船的波浪会毁坏运河堤岸。”当局取缔了赛明顿的营运许可证。

同年，美国发明家富尔顿客居法国巴黎，曾觐见拿破仑，力陈蒸汽动力船的优点，建议法国制造蒸汽船打败英国海军。拿破仑冷冷地说：“在甲板上升一堆火，噗哧噗哧冒着烟去打仗，笑话！”断然拒绝了富尔顿的主张。由于拿破仑的偏执，使得英吉利海峡未发生帆船和蒸汽船的决战。

然而，富尔顿仍在巴黎建造了一艘蒸汽船，这艘船长21米、宽2.7米，吃水1米，用桨轮划水。1803年8月9日，富尔顿使用借来的一台8马力蒸汽机，驱动蒸汽船在塞纳

▼ 1910年8月一个大雾弥漫的早晨，一艘冒失的蒸汽动力船在阿拉斯加冲上礁石搁浅，退潮时陷入尴尬的境地，这或许是对人类的某种暗示





▲记录1914年巴拿马运河通航庆典盛况的照片，借助蒸汽机的动力，人们凿穿巴拿马地峡，在美洲中部连通太平洋和大西洋，蒸汽动力船舶开始穿梭在这条人工水道

制造出一艘50米长、4.2米宽，吃水0.7米的明轮蒸汽船。这艘船于1807年8月17日在哈德孙河上试航，顺利航行32小时，航程240千米，航速已超过顺风顺水的帆船，这标志着蒸汽动力船在这一天正式诞生。

人们编造了这样一个故事，说非奇、赛明顿和富尔顿三个人在天国偷了一条蒸汽船。非奇先上船，魔鬼喊道：“快还我钱！”非奇无奈下了船。赛明顿又上船，魔鬼喊道：“波浪会毁坏堤坝！”赛明顿只好下船。第三个上船的是富尔顿，无论魔鬼怎样叫喊，富尔顿就是不下船，于是他成了轮船的发明者。



船的发

蒸汽动力船最大的优势在海上。富尔顿成功开通蒸汽船内河

◀ 这张1941年拍摄的照片，记录了轮船在非洲圣·露西亚港码头装煤的情景，或许这是对人类的讽刺，煤产生的动力替代了人沉重的劳作，人又成为煤的奴隶

河以步行的速度顺利航行。当夜，风雨大作，巨浪把船拦腰折为两段，蒸汽船沉入河底。

富尔顿早年曾是一位画家，通过举办画展积攒了造船的资金，并结识了瓦特。1803年，在瓦特的帮助下，富尔顿买到一批制作精良的蒸汽机零件，带回美国继续他的造船事业。两年后，他

蒸汽机的发明，不可逆转地改变了人类文明进程，世界由传统农业社会逐渐转变为工业社会，人类活动开始越来越紧密地依赖化石燃料。

航线之后14年，一艘英国蒸汽动力船开始在大西洋航行，取名“升星号”，寓意蒸汽动力船是冉冉升起的明星。不久，许多全部采用蒸汽动力的船舶开始横跨大西洋航行。1838年4月，排水量1320吨的蒸汽动力船“大西号”从英国布里斯托港出发，15天之后到达美国纽约。此时蒸汽船问世不过几十年，已经比当年哥伦布的帆船快了4倍。1492年，哥伦布首航美洲，70天才越过大西洋。

自从人类发明了船，便期盼它行驶更快、装载更多、航程更远。在蒸汽动力出现之前，这种愿望很难实现。因为，变化莫测的风力和水手有限的体能，无法使船舶持久地快速航行；在大海上远航的船舶如果进入无风带，无异进入死亡水域。帆和桨只适宜推动木船，而木船不能造得太大，否则船体自重和构件的拉力会使其断裂。

蒸汽动力使这些难题迎刃而解。从原理上讲，蒸汽机的动力不受限制。在19世纪，人们已经造出单台功率3万马力的蒸汽机，其动力大约相当于上万匹马一齐奔跑的力量。这种功率强大的机器，可以推动船舶在水上高速前进，也有足够的力量驱动钢铁制造的巨大船只在海上远航。1858年下水的英国轮船“大东方号”长207米，排水量达2万吨，能装载1.2万吨煤和4000名乘客，就像一座漂浮在海上的城市。蒸汽动力船可以逆风逆流航行，可以在北极破冰而行。

▼ 这幅照片记录了苏联乌拉尔地区一个工业基地浓烟蔽日的场景。无节制地从煤中获得动力，使人类正在付出沉重的代价





▲ 蒸汽动力使人类获得了巨大的利益，工业文明开始建立在化石燃料基础之上。继煤之后，人类的视线又转向石油。这张1941年拍摄的照片，记录了美国加州西格纳尔山油井林立的奇特景观

由于蒸汽机的发明，人类水上交通呈现出全新的局面。从此，被海洋分割的陆地开始通过轮船越来越紧密地联系在一起。铁制的蒸汽动力船，装载着货物、人类的欲望和野心，频繁地穿梭于大洋之上，深刻而持久地改变了地球各大洲之间的相互

关系，也改变了世界格局。

蒸汽机的发明亦不可逆转地改变了人类文明进程，世界由传统的农业社会逐渐转变为工业社会，人类活动开始越来越紧密地依赖化石燃料。在宇宙演化进程中只能出现一次的煤，成为世人争夺的特殊财富，人们日以继夜地把它们挖出来，毫不犹豫地将其送进锅炉变成灰渣和二氧化碳。蒸汽机使人们获得从未有过的创造财富的能力，也使地球开始遭受从未有过的环境和生态破坏。人们产生了一种错觉，以为化石燃料是用之不竭的自然资源，全然没有思虑有一天它们耗尽之后怎么办。

当蒸汽机掀起的浪潮席卷世界的时候，科学家正在默默地揭示一个又一个未知领域的奥秘，酝酿着新的变革。■

九 电气时代来临

19世纪，科学家发现了电和磁的联系，开辟了驾驭能量、传输信息的新途径。人类刚刚步入工业社会，又匆匆奔向一个新的时代。

当发明家和工程师们在拓展蒸汽动力的道路上轰轰烈烈前进的时候，一些鲜为人知的学者在实验室里默默地研究着另一类现象——电。这种研究没有任何功利目的，因为没有人知道探索它会有什么结果，更不能预测电对人类有什么实用价值。这些学者研究电纯粹是出于好奇心，希望了解自然。

早在2500年前，古希腊人已经注意到摩擦琥珀会产生电，能够吸附微小的物体。干燥的物体相互摩擦很容易带电，电会在不经意中产生，也很容易消失；偶尔会在空气中形成噼啪作响的小火花，但稍纵即逝。直到16世纪，人们关于电的知识仅此而已。

早期电学研究没有任何功利目的，因为没有人知道探索它会有什么结果，更不能预测它对人类有什么实用价值。科学家研究电，纯粹是出于好奇心，希望了解自然。

科学家研究电，第一件事就是想办法获得足够多可随意产生的电。曾经表演过著名的马德堡半球实验的德国科学家盖里克，于1660年发明了第一台能产生大量电荷的摩擦起电机。他设计的这种机器，有带手柄的轮子，摇动手柄，轮子即带动玻璃盘或硫磺球快速旋转；当它们与物体摩擦时，就会产生电荷；转动速度越快，摩擦时间越长，电荷就越多。这些电荷可以通过与它们接触的金属丝，由一端传到另一

端，有时会在空气中产生爆炸般的火花。

这种起电机能够方便地产生电，但是不能贮存电；一旦停止转动，玻璃盘或硫磺球上的电，就会通过空气或沿其表面消失得一千二净。



▲ 17世纪欧洲经常表演的一个电学实验。细线悬挂着小男孩，用起电机使他带电，孩子身体和手臂可以吸引轻小的物体

一件偶然的事，使人们找到了贮存电的简单办法。1745年的一天，荷兰莱顿大学教授马申布洛克（1692—1761）用起电机使装在玻璃瓶里的水带电，他把细长的金属链一端垂入瓶中，另一端与起电机相连，自己则用一只手握着玻璃瓶，另一只手迅速摇动起电机的转轮。当他正在端详带电的水有什么变化时，刚刚松开摇把的手无意中碰到了金属链，突然，他的身体受到强烈的电击（事后马申布洛克说，那次我差点完蛋）。平静之后，马申布洛克马上想到，是装着水的瓶子里的电击了他，因为那时瓶子早已离开了起电机。这一意外发现令他欣喜若狂，原来，电可以像水一样贮存。

随后，马申布洛克用各式各样的瓶子贮存电，发现不一定要装水，只要在干燥的玻璃瓶内外壁各贴一层相互绝缘的金属箔，内层与起电机相连，外层与大地相连，起电机产生的电就会贮存在瓶子里。瓶子越大，玻璃壁越薄，存的电就越多。这种装有电的瓶子，其重量没有任何变化，也看不见里面有任何物质，可以随意搬来搬去。但是，只要在内外两层金属箔上各连出一条金属丝，使它们的尖端相互靠近，就会在空气中产生啪啪的火花。人们称这种能贮存电的瓶子为“莱顿瓶”。



当时，一些聪明的欧洲人为莱顿瓶这种能存电的瓶子找到了两个奇特的用途：一些人利用它帮助乡村农户屠宰牲畜，他们先用莱顿瓶放电击昏牲畜，再令它们安静地结束生命；另一些人则用它恶作剧，让人在毫无防备的情况下触电出洋相。有个名叫诺雷的神父，曾在法国皇帝路易十五面前开过一个大玩笑，他让700名修士手拉着手站成一圈，第一个修士的手触摸莱顿瓶的一条引线，最末的那个修士触摸另一条引线，使700人在一瞬间同时遭受电击，人们惊恐万状，长袍飞舞，令皇帝乐不可支。后来人们知道，电以光的速度传输，而修士撒开手至少在0.1秒钟以后，因而莱顿瓶通过人体放电，无人能够幸免。

◀ 最早的贮存电荷的装置——莱顿瓶

1746年，美国政治家、发明家富兰克林（1706—1790）得到一只莱顿瓶，开始研究电。这位没有上过大学也没有导师指点的学者，以自己的方式探索自然。当夜幕降临时，他注意到莱顿瓶引起的火花放电，在空气间隙出现飘忽不定的闪亮通道，通道上的闪光和啪啪的声音同时出现，很像是天空闪电的微缩景观。他突然产生一种联想：天上的雷电和人们用摩擦产生的电会不会是一回事？

富兰克林这位没有上过大学也没有导师指点的学者，以自己的方式探索自然。他突然产生一种联想：天上的雷电与人们用摩擦产生的电会不会是一回事？

1752年7月，富兰克林做了一个冒险的实验，在雷雨将至时，将一个风筝放飞天空，风筝顶上系着一根细铁丝，风筝的细线下端系着一串金属钥匙；再用一段干燥的绳子，一端系在钥匙上，另一端握在手上（富兰克林知道，被雨水沾湿的风筝线会导电，干燥的绳子可以阻断电流通路，使自己不受伤害）。当雷电发生的时候，富兰克林看见钥匙的尖端出现了时断时续的火花，他用莱顿瓶把钥匙上产生的电贮存起来认真研究，发现它与起电机产生的电没有什么不同。于是他对雷电的成因解释说：天空中云和云相互摩擦或云与地面相互摩擦产生了大量的电，这些电释放出来的时候，就产生了雷电。由于云层的空间尺度和运动规模很大，产生的电比人们在实验室中用起电机产生的电量多得多，所以天空中的雷电才显得格外神奇壮观，它与人们常见的摩擦起电在本质上是一样的。



1747年，富兰克林用莱顿瓶研究不同形状的金属物体产生的电火花有何不同，发现尖端最容易放电，球形最不容易出现火花。当他发现闪电与摩擦起电是同一种现象时，发明家独有的思维方式使他想到，可以利用建筑物顶上指向天空的金属针，通过尖端放电，把云中贮存的电引入地下，以避免建筑物遭受雷击。1760年，富兰克林给美国费城的一座高楼装上了第一枚避雷针，20年之后，费城已经装有数百枚避雷针。这是人类在探索电的历程中做出的第一件有实用价值的发明。这项发明很快传到英国，由于富兰克林是坚决反对英国殖民统治、领导美国独立建国的重要人物，英国当局

◀ 富兰克林进行风筝实验场景的想象图

出于对他的仇恨，曾经颁布命令，英国的建筑物不许采用富兰克林发明的尖端避雷针，如果要用，也只能用球形。后来一些英国建筑物多次遭雷击，当局便悄悄取消了这个禁令。直到19世纪后期，英国的许多教堂还是不愿意安装避雷针，他们认为雷电是上帝在惩罚有罪的人，教堂不会遭受雷击。

有位拿不定主意的神父曾

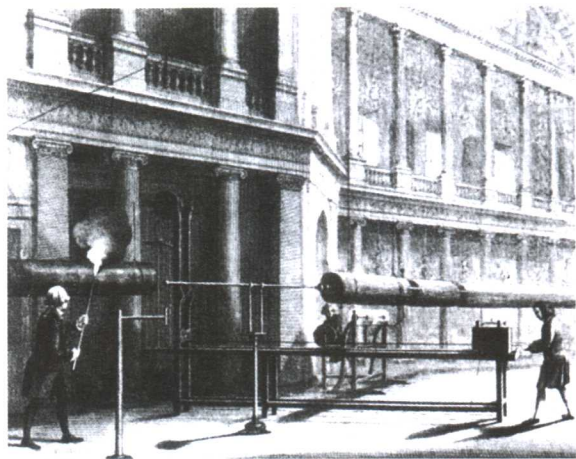
经私下询问发明家爱迪生（1847—1931），教堂不装避雷针是不是可以免遭雷击？爱迪生说，上帝有时候也会大意。

到18世纪后期，通过实验定量研究自然现象，已经成为许多学者的习惯，这种源于16世纪的研究方法，开始由力学逐渐扩展到其他领域。1785年，法国科学家库仑（1736—1806），发现了电荷之间相互作用力的规律。

很久以前，人们已经知道电荷只有两种，同种电荷互相排斥，不同电荷互相吸引。但是这种相互排斥或吸引的力非常小，难以测量，2000多年来人们始终无法了解这种力的规律。库仑是一位细心窥探自然奥秘的人，他注意到用古老的纺车把棉花纤维捻成细纱的时候，如果纱线断头，绞在一起的纤维会迅速松开反卷回去，绞合力越大，反卷的圈数就越多。这一司空见惯的现象，启发他想到利用有弹性的细小纤维扭转变形，测量微小的力。

1781年，库仑发明了扭秤。不过，实用的扭秤不再采用难以控制的棉纱，而是一根垂直悬吊的细金属丝，下面系着绝缘的水平横杆，横杆两端放置带电小球。水平方向的静电力使悬丝扭转，在悬丝上方有一面固定的小镜子，一束光投射在镜面上。镜子和悬丝一起转动时，反射的光点会产生很显著的偏移，从而测出微小的转角。根据扭转的角度，可以精确测量这种难以感知的力的大小，其灵敏度远远超过弹簧秤和使用砝码的天平。

近代科学诞生之后，许多科学家为了探究新的领域，总要先创造出新的实验装置和



▲ 英国皇家学会为保障伦敦军火库安全进行避雷针实验

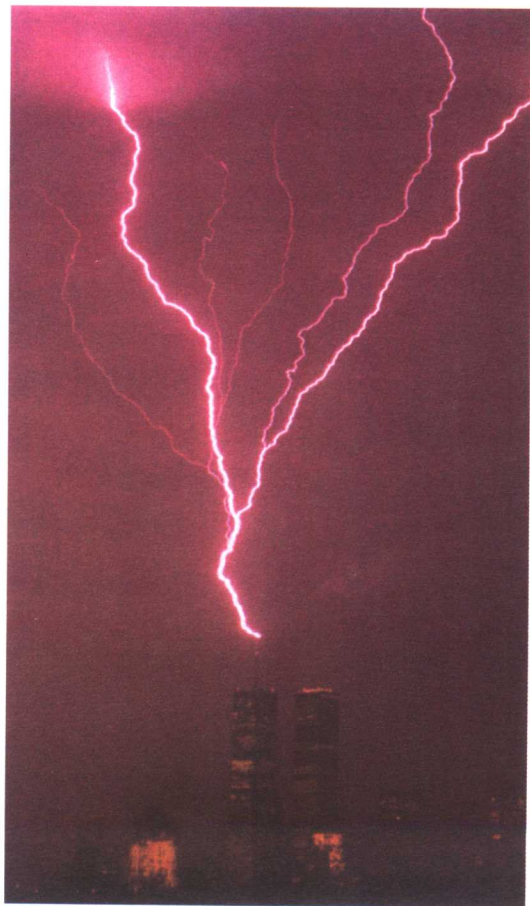
测量仪器，因此科学家常常又是发明家。

库仑使用扭秤精确测量各种情况下力的变化，发现了它们遵循的规律。这种相互吸引或排斥的力，与两个小球所带电量的乘积成正比，与两个小球之间距离的平方成反比，它的数学形式很像牛顿在1687年发现的万有引力定律。不同的是，牛顿出于理论上的推断，库仑则通过精细的测量归纳出这一定律。

这是科学家在电学领域发现的第一个基本定律，直到今天，人们还没有发现它与事实不符的地方。为纪念这位探索电的先驱，人们把电量的单位称为“库仑”。

不久，意大利博洛尼亚大学解剖实验室发生的一件怪事，悄悄地改变了电学研究的方向。实验室工作人员在无意中用手术刀触碰放在金属工作台上的一只解剖过的青蛙，发现早已死去的青蛙，其肌肉会像青蛙活着时一样收缩颤动。解剖学家伽伐尼（1737-1798）把青蛙肢解后仔细研究，结果发现，只要有两种不同金属制成的物体同时触及青蛙肌肉不同的部位，就会观察到青蛙肌肉的收缩。他认为这是一种神秘的“生命元素”发出了电流，就像人们早已知道的一些鱼会自己发出电一样（例如电鳗和电鳐）。1791年，伽伐尼发表著作《论肌肉运动产生的电荷》，人们把这种电流称为“伽伐尼电流”。

其时，意大利维尼亚大学物理学教授伏打（1745-1827）正在研究电学，当他知道这个消息后，重复了伽伐尼的实验，并对此提出不同的解释。他认为是青蛙体内的某些物质在水的参与



► 闪电击中了纽约世贸大楼，避雷针使大楼安全无恙。2001年9月11日，这座大楼和旁边另一座大楼在恐怖袭击中被摧毁

下，与两种金属发生了化学反应，在金属片之间产生了能够推动电荷运动的力量（后来人们把这种力量称为“电压”），流动的电荷刺激了青蛙的神经，引起肌肉收缩。他还用自己的嘴做了一个实验，用舌头舔一片锡箔，再用一只银勺触碰舌根，舌头上出现了一种令人很不舒服的奇怪味觉。他认为是锡和银在唾液参与下发生化学反应，产生了刺激味觉神经的电流。

许多科学家为了探究新的领域，总要先创造出新的实验装置和测量仪器，因此科学家常常又是发明家。

为了证实自己的推断，伏打发明了非常灵敏的验电器，利用静电排斥力引起金属箔片分开的角度变化，测量微小的电压。他研究过锌、锡、铜、银、金等容易加工又不易锈蚀的金属和石墨，发现这些材料中的任意两种与溶液接触，都会产生电压，材料不同，产生的电压也各不相同。1800年，伏打发明了人类历史上最早的化学电源。他在一块浸透盐水或碱溶液的皮革两侧分别贴上锌片和铜片，用金属导线把锌片和铜片连接起来，感觉到金属导线在微微发热，看见锌片和铜片与皮革接触的地方发生了化学反应。

为了让人们对他的发明有深刻的印象，伏打设计了一个恶作剧般的实验。他用几十片铜锌做成的电极分别夹着浸透盐水的绒布，叠压成一个高高的柱子，用两条金属丝分别与最上面的锌片和最下面的铜片相连，金属丝的另一端分别置入两个盛水的盆中，然后，他问谁敢把两只手同时伸进这两个盆里？所有冒险的人无一例外都遭到了强烈的电击。

伏打关于“伽伐尼电流”的解释和他发明的化学电源很快被人们接受，在伏打发明的这种装置里，两个金属电极之间好像有一种神奇的力量推动着电荷运动。为了纪念这位杰出的科学家，人们把电压的单位定为“伏特”。

19世纪初，人们已经能制造出许多种柔韧细长的金属丝。这些金属丝具有良好的导电性，在空气中不易锈蚀，它们逐渐成为物理学家研究电荷运动必不可少的材料。当时在电学实验室里，电池和金属导线已经取代了起电机和莱顿瓶，物理学家有可能充分研究流动电荷产生的各种效应。

伏打发明化学电源20年之后，丹麦哥本哈根大学自然哲学教授奥斯特（1777—1851）发现了电和磁的联系。2000多年来，人们一直认为电和磁是互不相干的两件事，仅对它们进行孤立的研究。奥斯特十分赞赏哲学家康德（1727—1804）关于自然界各种现象之间有着深刻内在联系的观点，他认为电能够产生热、产生光，还会发出声响，例如放电时的“啪啪”声，电可能也会产生磁，他希望找到电产生磁的证据。1820年4月，在一次讲授“各种电与磁的现象”的课堂上，奥斯特演示了当时能够做的各种电和

奥斯特十分赞赏哲学家康德关于自然界各种现象之间有着深刻内在联系的观点，据此，他希望找到电产生磁的证据。

磁的实验，当他举起手中的指南针向学生讲述地磁场的作用时，发现磁针并不指南方，而在水平方向偏转了一个很大的角度。他注意到，刚才做过实验的伏打电池与相连的导线没有断开，是电流引起磁针偏转。

奥斯特决定深入研究这种奇特的现象，他在3个月的时间里做了60多次实验，研究各种情况下电流对磁针偏转的影响。发现所有通过电流的导线，都会使周围磁针发生不同程度的转动。1820年7月21日，他用拉丁文发表了自己的研究报告。

奥斯特的新发现迅速传到德国和瑞士，正在日内瓦访问的法国物理学家阿拉果（1786—1853）立即带着这一新闻回到法国，并于1820年9月4日在法国科学院的例会上宣读了奥斯特的这篇论文。此后，法国科学家安培（1775—1836）、比奥（1774—1862）和沙伐尔（1791—1841）等人迅速做出反应，对这一现象进行深入研究。

在1820年9月18日、9月25日和10月9日的法国科学院例会上（该例会每星期举行一次），安培提交了三篇研究报告。报告指出，线圈通电时对磁针的作用与磁铁相似，他推断磁铁之所以能够使磁针运动，是由于内部存在着环形电流，而且他认为磁针之所以指向南北，是因为地球内部存在着与赤道方向相一致的环形电流，磁在本质上是电荷运动的结果。他发现，只有运动的电荷才能产生磁。他还发现，通电导线之间也存在着相互作用力，电流方向相同的导线相互吸引，电流方向相反的导线则互相排斥，这种相互作用力可以延伸至很远的地方。

在1820年10月30日的法国科学院例会上，比奥和沙伐尔报告了他们发现的通电导线对磁针作用的定律，通电导线对磁针的作用力与电流成正比，与距离成反比。数学家拉普拉斯（1749—1827）还用微积分符号写出了这一定律的另一种表达形式。

在奥斯特宣布自己发现电与磁的联系100天后，科学家们已经非常清楚地了解电如何产生磁，并且开始探寻物质产生磁性的内在原因。为了纪念这项研究的先驱，人们把磁场的单位定为“奥斯特”，把电流的单位定为“安培”。

新的科学发现常常导致新的技术发明。1821年，世界上出现了两件重大的发明——电动机和电流表。电动机能够使电转换成机械运动，揭开了电气时代的序幕；电流表则可以使人们“看见”电荷的流动、测量电流的大小，对电磁学进行定量研究。

1821年9月，英国物理学家法拉第（1791—1876）发明了电磁转动实验装置，他利用伏打电池产生源源不断的电流，使一段通电的直导线在水银杯中不停地围绕中央的一根磁铁棒缓慢旋转。后来，他又使一根倾斜的磁铁棒在水银杯中自行围绕固定在杯

当时德国学术界不承认欧姆的成果，拒绝发表他的研究报告，权威们认为“电学中没有如此简单的规律，而且欧姆只不过是一名中学教员”。

中央的直导线不停地旋转，从而做成了人类历史上最早的电动机。这一构想最早是由当时英国皇家学会会长沃拉斯顿（1766—1828）提出的，但他没有做成。法拉第认真阅读了1820年法国科学家们的研究报告，分析了导体在磁场中受力的情况，并采用水银作为减小摩擦阻力的导电介质，完成了这一发明。

还是在这一年，几位在不同的电学实验室工作的欧洲科学家，不约而同地想到利用线圈和磁针测量电流的方法。他们在两个相隔一定距离的垂直线圈之间，水平放置一枚可以自由转动的磁针，当线圈不通电时，磁针和地磁场的方向一致；当有电流通过这两个线圈时，电流产生的磁场会推动磁针偏离原来的指向，偏转一定角度后，线圈产生的磁力和地磁场的作用力达到新的平衡，磁针静止不动。电流越大，磁针偏转的角度就越大，根据磁针的偏转角度，可以知道线圈中电流的大小。这种巧妙的装置将人无法看到的电荷运动，转换成视觉可以分辨的相应磁针空间位置的变化，从而轻而易举地解决了电流的测量问题。这项发明为电磁学的研究和日后电气技术的应用奠定了重要的基础。

1827年，德国物理学家欧姆（1789—1854）发现，电荷在导体中流动遵从一种十分简单的规律：电流和电压成正比。电压和电流之间的比例系数称作电阻，它表示导体对电荷流动所呈现的“阻力”。这是电学中极为重要的另一个基本定律，依据它，人们可以通过改变电阻的办法精确地控制电流的大小，方便地调节、分配流过导体的电流，就像拧阀门调节自来水流量一样。

然而这一定律的发现过程并不简单。当欧姆着手研究的时候，习惯性地采用伏打电池作为电源，这种化学电源产生的电压不够稳定，还会受到温度的影响，使实验数据似乎无规律可循。后来人们建议他采用德国物理学家塞贝克（1780—1831）在1822年发明的“热电偶”作为电源。“热电偶”是由两种不同金属材料做成的装置，利用热产生电。两种不同金属条带的一端固结在一起加热，在另外两个冷的端点之间就会产生电压，电压的数值与冷热两端的温度差成正比，只要冷热两端温度保持恒定，电压就保持不变。1826年，欧姆用铜和金属铋做成一个“热电偶”，铜和铋相接的一端放在沸水里，另外两个端点插在冰水里，温度差总保持在100摄氏度（当时人们已经知道沸腾的



► 法拉第使用过的感应线圈

水和冰水混合物都会保持各自恒定不变的温度)。他在铜和铋的冷端点之间接入粗细均匀但长短不同的铜丝，仔细观察电流的变化。他改进了不久前刚刚发明的磁针电流计，用库仑扭秤测量磁针的转角，使电流测量更加精确。

1827年，欧姆出版了《伽伐尼电流的数学研究》一书，阐述了他发现的导体中电流与电压成正比的规律，并且详细论述了金属导线电阻研究的结果：粗细均匀的导线电阻与长度成正比，与截面积成反比。欧姆的发现奠定了电路研究的基础，

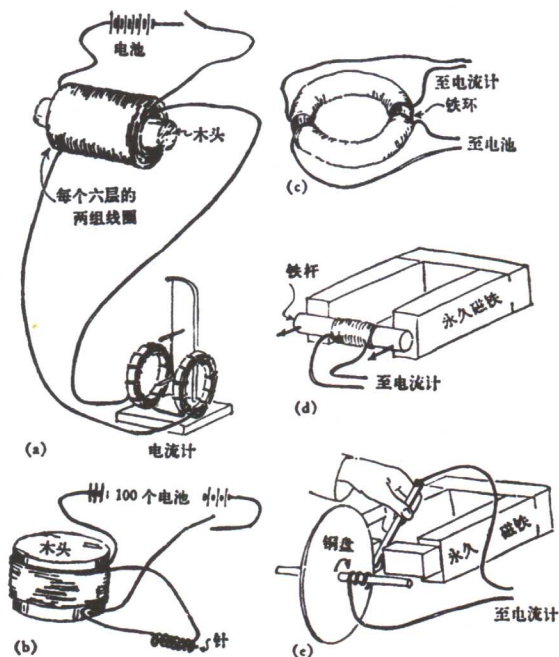
但当时德国学术界不承认他的成果，拒绝发表他的研究报告，权威们认为“电学中没有如此简单的规律，而且欧姆只不过是一名中学教员”。

直到1841年，英国皇家学会在多次反复研究欧姆的实验后授予他考普利奖章，欧姆的工作才引起德国学术界的重视。到1852年，欧姆成为德国慕尼黑大学教授。两年之后，他离开了人世。人们为了纪念他，把电阻的单位定为“欧姆”。“欧姆”已经成为今天电学中使用频率最高的词汇之一，然而人们却很少想到它背后那些发人深思的故事。

法拉第通过三种途径在艰难的环境里学习：一是努力阅读他装订的书；二是加入当时一位热心传播知识的人组织的“伦敦哲学研究会”；三是听英国皇家学会定期为公众讲述科学的讲座。

1831年，电磁学研究取得了突破性进展，英国物理学家法拉第发现了电磁感应现象，为人类找到了使机械能直接转化为电能的有效途径。

法拉第出生在一个贫困但温馨的家庭，父母有10个孩子。13岁时，法拉第就到印刷厂当了装订工。好学的法拉第通过三种途径在艰难的环境里学习：一是努力阅读他装订的



▲法拉第在《电的实验研究》中描绘的五种产生电流的方法

书；二是加入当时一位热心传播知识的人组织的“伦敦哲学研究会”，这位组织者经常请人在自己家中介绍人们感兴趣的新知识，允许研究会成员阅读自己的藏书；三是听英国皇家学会定期为公众讲述科学的讲座。通过这些途径，年轻的法拉第走上了与众不同的科学探索之路。

法拉第一生淡泊名利，谢绝了英国科学界希望他出任皇家学会主席的美意，只为自己保留了两个职位：一个是皇家学会实验室主任，另一个是负责为青少年安排科学讲座的秘书。

1812年，法拉第成为著名化学家戴维（1778—1829）的助手，主要从事化学方面的研究工作；1821年，他成为英国皇家学会实验室主任。

从1820年起，欧洲掀起了研究电磁现象的热潮，出现了各种各样的理论。1821年，《英国哲学学报》的编辑邀法拉第写一篇关于电磁学研究的述评，使他转而研究这个新的领域。他重复了奥斯特、安培以及其他物理学家做过的许多实验，在仔细分析这些实验结果后，他坚信电和磁之间还有更深刻的联系。他认为，不仅电流能够产生磁，磁也会产生电，他希望用自己的实验证实这种想法。在1821年之后的10年间，法拉第总是在实验室里用电池、线圈、磁铁和磁针，反复进行各种各样他能够想出来的实验，他希望借助磁铁的磁性或电流产生的磁性，在一个与电池不相连的线圈里产生电流，结果一无所获。然而与众不同的执著和耐心，使他毫不气馁地进行着单调枯燥的实验。

1831年8月29日，法拉第的实验终于取得突破性进展。他在一个软铁做成的环形铁芯上绕了两个线圈，第一个线圈与伏打电池相连，让电流通过；第二个线圈的一端延伸出一段距离，再返回来和另一端连在一起（中间没有电池），在延伸的导线下方放一个可以自由转动的磁针，它距离铁心大约1米远，这样的距离可使磁针不受第一个线圈电流的影响，只探测第二个线圈里的电流。当接通第一个线圈的电流时，法拉第看到磁针突然剧烈摆动，然后平静下来回归原位。当断开第一个线圈的电流时，磁针再次剧烈摆动，然后平静复归原位。法拉第猛然意识到，磁针的摆动是由第一个线圈中电流的变化引起的，不同于当年奥斯特发现电产生磁的情况，法拉第发现的是磁力变化引起电流。

紧接着，法拉第又进行了三个实验，他发现磁铁插入或拔出线圈的时候，线圈里也会出现电流；如果线圈绕在一段铁棍上，铁棍两端分别与两个磁铁相接，当这两个磁铁的另一端合拢或离开时，线圈中会出现电流；当一个铜盘在磁铁的两个磁极之间旋转时，铜盘上也会产生电流，实际上，这就是最早的发电机。

1831年11月24日，法拉第在向英国皇家学会提交的报告中，把这种磁产生电的现象称为“电磁感应”，并且概括了可以产生感应电流的五种途径：电流变化、磁场变化、

流过恒定电流的导线空间位置变化、磁铁运动以及使导体在磁场中运动。实际上，法拉第已经告诉了人们发电的五种方法，其中第五种已经成为今天全世界共同采用的发电方式，目前人们使用的电主要用这种方法得到。

法拉第一生淡泊名利，执著地探寻大自然的奥秘，为人类进入电气时代铺就了最重要的一块基石。他谢绝了英国王室授予的“爵士”头衔，谢绝了英国科学界希望他出任皇家学会主席的美意，只为自己保留两个职位：一个是皇家学会实验室主任，另一个是负责为青少年安排科学讲座的秘书。

1865年，英国物理学家麦克斯韦（1831—1879）发现，在库仑、奥斯特、安培、欧姆和法拉第分别发现的规律之间，有一种深刻的内在联系。他把这些定律归纳成一组统一的数学方程式，从这组方程式中解出一个令人惊异的结果：变化的磁场会产生变化的电场，变化的电场又会产生变化的磁场，交替变化的电磁场以光的速度向外传播，成为电磁波；这种波的传播方式与声波不同，不需要物质作为媒介，可以在真空中传播。麦克斯韦从理论上预言了电磁波的存在，而且认为光本身就是一种电磁波。他在自己的方程式中，算出电磁波传播的速度应为每秒31.1万千米，与物理学家斐索（1819—1896）于1849年测得的光速每秒31.5万千米非常接近。

从伽利略时代开始，科学家即依靠实验发现自然规律，电磁学发展的早期，完全遵循着这条道路。随着数学的进展，科学家开始以实验发现的规律为依据，运用新的数学方法，进行高度抽象的逻辑推理探寻自然奥秘，一批精通数学的理论物理学家应运而生，这标志着人类探究自然的历程达到了一个新的高度。



▲爱迪生发明的白炽灯

1888年，德国物理学家赫兹（1857—1894），用实验证明电磁波的存在，验证了麦克斯韦的理论。赫兹设计了一个十分巧妙的实验，用充电的莱顿瓶通过火花放电，激发金属导体组成的电路产生电流振荡；在几米之外放置接收这种振荡信号的探测器。如果电磁波真的存在，那么当接收器的固有频率和电流振荡的频率一致时，振荡电路激发的电磁波会在探测器上感应出高电压，从而在它的间隙上产生火花放电。然而，无数次实验都失败了，赫兹总也看不到探测器上的电火花。

有一天，新婚的妻子拉着疲惫不堪的赫兹离开实验室到花园散步，心不在焉的赫兹看见空中一群飞来飞去

科学家开始以实验发现的规律为依据,运用新的数学方法,进行高度抽象的逻辑推理探寻自然奥秘,一批精通数学的理论物理学家应运而生,这标志着人类探究自然的历程达到了一个新的高度。

的小虫,问:“这是什么?”妻子说:“它们是萤火虫。”他又问:“为什么看不见它们发光?”妻子说:“白天不是也看不见星星吗?”赫兹如梦初醒,径直跑回实验室,拉上厚厚的窗帘,重新开始实验。

果然,在昏暗的背景下,他看到了探测器上微弱的电火花。

无数个夜晚,赫兹一次又一次地进行实验,在振荡电路和探测器之间放置各种物体,观察它们对电磁波传播的影响。他观测到金属平板使电磁波发生反射,绝缘体大棱镜使电磁波发生折射,金属凹面镜使电磁波发生聚焦。他又根据振荡电路的频率和测量出的电磁波波长,计算出电磁波传播的速度,与当时人们测得的光速相同。

1888年1月,赫兹发表了最终研究结果。此时,麦克斯韦已经去世九年,十分遗憾,他没有见到自己预言的电磁波。

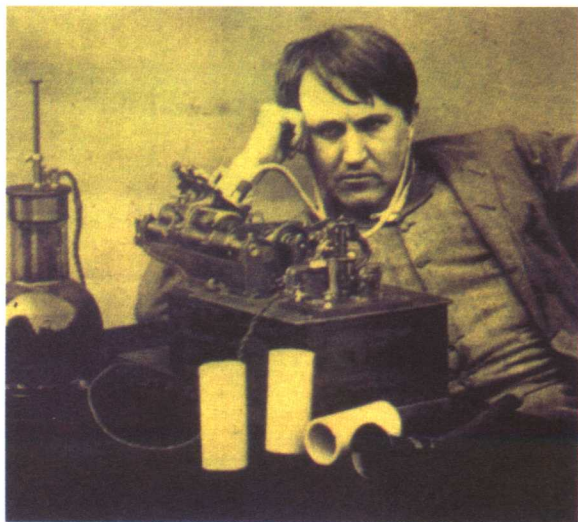
从马申布洛克到赫兹,科学家以各自不同的方式探索电和磁的奥秘,发明家以丰富的想象力,把新的科学发现变成前所未有的技术。电从科学家的实验室一步一步走进充满生机的世界。

伏打电池出现后的第四年,人们发明了用电传输信息的方法。

1804年,西班牙发明家萨尔瓦发明了最早的电报。他用27条长长的电线传送简短的信函,这些电线的一端浸泡在酸水里,其中有一条导线的另一端固定在电池的一极,其余26条线分别代表26个拉丁字母,传送字母时,它们与电池的另一极相连。当某个线头与电池相连时,另一端的线头由于发生了电化学反应,有气体在线头析出,因此会在酸水里冒泡。萨尔瓦就是利用这种办法,把文字传送到1000米之外的地方。

1807年,英国化学家戴

►爱迪生和他的几件发明样机,他的眼神告诉人们,发明家正在构想未曾有过的事物



有了电动机，人们可以比较安静地使用自然界提供的动力，不必永远守着喧闹而且冒着黑烟的蒸汽机。

维发明了电解技术，他利用电池产生的电流使溶液中的物质分解，使构成化合物的成分从溶液中分离。用这种方法，戴维得到了在自然界中很难找到的金属钠和钾。这种用电流“拆开”物质的办法非常有用，它使人们能够用简便的方法，把宇宙中众多的化合物，还原成构成它们的组分。今天人们使用的金属铝，就是电解熔融的三氧化二铝

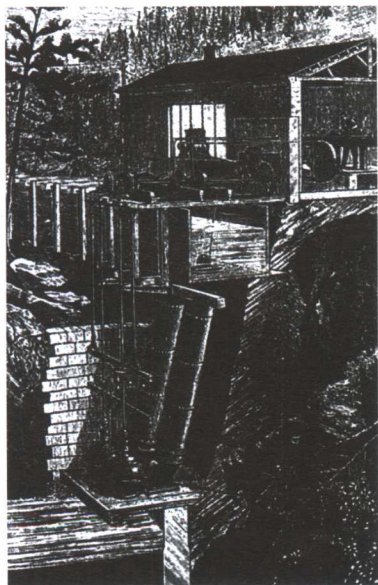
矿石得到的。如果有一天人类到达遥远的星球时，大可不必自带氧气，只要在那里找到水，用电解水的方法就可得到维系生命所必需的氧。

差不多与此同时，戴维还发明了电镀技术，用电学方法使一种金属均匀牢固地附着在另一种金属表面。

电镀技术在本质上是借助电流在液体中“搬运”物质的技术。戴维在溶液中放置两种不同的金属，分别与电池的两极相连，电流通过溶液时，一种金属会变成溶液中的离子转移到另一种金属表面析出，并牢牢地固结在另一种金属的表面。通过控制电流的大小，可以精确控制镀层的厚度。利用它，可以为钢铁表面镀金、镀银、镀铜、镀镍或镀铬。这样，不仅可以使钢铁制造的器物表面光洁美观，避免锈蚀，而且还可以改变它的表面硬度，使其更加耐磨。利用电镀技术，人们还可以在溶液中

静悄悄地“铸造”出精美奇特的艺术品和机器零件。

1808年，人类开始探索用电照明的方法。这一年，戴维发明了最早的电弧灯。他把几十个伏打电池串联在一起，构成可以产生高压的组合电池。电池的两极，各接一根石墨做成的碳棒，当这两根碳棒的尖端相互接近到一定距离时，在间隙处就会突然出现明亮耀眼的弧光。这是由于空气在电池的高电压作用下分解成导电的离子，使绝缘的间隙成为电流的通路，伴随着通过间隙的强大电流，电弧产生高温，就会使更多的空气电离，发出明亮的光。不同于稍纵即逝的静电火花，弧光能够持续相

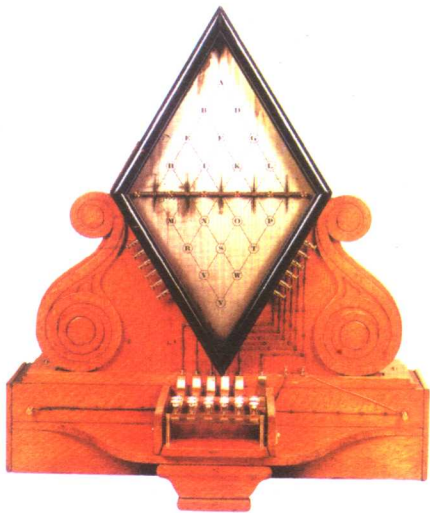


▲1881年在英国建成的世界上第一座小型水电站，这座水电站利用了一个旧皮货作坊的厂址

当长一段时间，它的空间位置十分稳定，可以照亮一大片地方。

弧光是一种可以控制、连续发生的微型闪电，它是人类最早制造的不用燃料的光源。

然而，弧光灯点燃之后，电弧迅速烧蚀碳棒，使碳棒间隙不断加大，电池的电压不足以维持放电，不久弧光就会熄灭，而戴维对此无能为力。后来，英国发明家施泰特用一个发条驱动钟表机构推动其中一根碳棒，在发出弧光时缓慢向另一根碳棒靠近，使它们在烧蚀过程中保持间距不变，以维持长时间发光。不久，他又用一根铜丝做成的弹簧直接推动碳棒，利用电弧发出的热量使弹簧膨胀产生位移，自动补偿碳棒烧蚀产生的空间距离变化，使弧光保持稳定。



▲ 库克和惠斯登发明的5针电报机

经过发明家的改进，弧光灯终于出现在英国伦敦和法国巴黎的街道，成为当时的动人景观。

1832年，法国人皮克希（1808—1835）发明了可以连续产生电流的最早的发电机，他是第一个赋予法拉第发现的电磁感应现象以实用价值的人。

皮克希在两个绕在软铁芯上的线圈下方，安装了一个可以转动的马蹄形永久磁铁，磁极端面非常靠近线圈；永久磁铁通过摇柄在水平方向高速旋转，引起软铁芯中磁场快速交替变化，在两个线圈中激发出感应电压。由于永久磁铁每转过半圈，线圈中感应电流的方向就会改变一次，因而它发出的电是交流电。后来，在物理学家安培建议下，皮克希采用使电流自动改换方向的装置，做成了直流发电机，发出单一方向的电流。然而，当时永久磁铁均由天然磁铁矿石做成，磁性不够，感应产生的电压很低，发出的电十分微弱。

1835年，美国人达文波特（1802—1851）发明了实用的电动机。虽然早在14年前，法拉第已经做出用于演示、可以连续运转的电动装置，但由于当时永久磁铁的磁性不足，电流在磁场中受到的力很小，因此仍不足以产生足够的力量。达文波特把永久磁铁改成电磁铁，电池既为转动的线圈供电，同时又为电磁铁的线圈供电，并且周期性地

改变流过线圈的电流方向，使线圈在磁力推动下能够连续不断地旋转。由于电磁铁的磁力比永久磁铁大许多倍，使得这种电动机力量大增，能够在钢铁工件上钻孔。后来人们用它带动印刷机，曾印刷过美国最早的电学期刊《电磁学与机械信息》。

科学家努力探寻自然界隐秘的规律，发明家则要解决人类面临的实际问题。这使他们表现出不同的气质和智慧。

有了电动机，人们可以安然自如地使用自然界提供的动力，不必永远守着喧闹而且冒着黑烟的蒸汽机。这种新的动力机械启停方便，操纵灵活，可以同各种装置配合在一起构成多种多样的新机器。

皮克希和达文波特的发明，使人们远远地望见了电气时代的曙光。

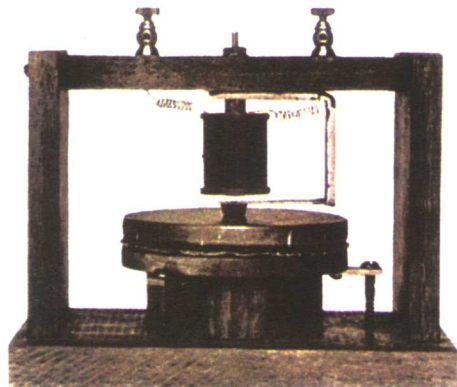
1837年，英国人库克（1806—1879）和惠斯登（1802—1875）发明了实用的电报机。他们不再使用冒泡的酸水，而是利用电流令磁针偏转，然后根据磁针偏转的方位，判断远方发送的信息。

这种电报机只需5条电线发送拉丁字母组成的信函。这种机器有5根并列排成一行的磁针，磁针偏移的方位，受来自远方的电流控制，磁针上下两边各有一幅网格状的字母表；发报员按照文稿字母顺序按键，电流便使收报机上的磁针有规律地摆动；根据接收机上磁针偏转的方位，人们就可以知道远方发送的是哪个字母。

一年以后，这种电报系统开始在英国西部大铁路沿线安装使用，因为铁路沿线很容易架设传送电报的电线，而且铁路沿线的电报业务量会比其他地方大。有一次，英国警方向铁路沿线各火车站发送电报，描述一名当天登上列车潜逃的杀人犯的外貌特征，沿线警察收到电报后很快便逮捕了这名罪犯。这件事成了那一天的头号新闻，人们纷纷议论：“电报真的比火车还快。”然而，库克和惠斯登发明的电报机需要用的电线太多，安装起来麻烦；而且磁针从开始摆动到稳定下来需要一定的时间，发报的速度尚不够快，

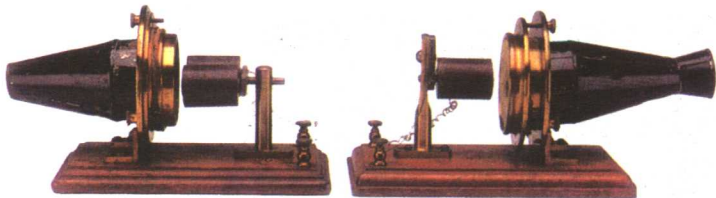
辨读字母也常常会出错。

1838年，美国人莫尔斯（1791—1872）发明了一种新的电报系统，使用时断时续的电流发送文字信息。这样发电报只需一条电线，而用大地作另一条电流的通路。莫尔斯用两种持续时间不同的电流信号组成不同的时间序列，以此分别代表



◀ 最早的电话送话器，为了产生足够的机械振动，弹性膜片很大

不同的拉丁字母和阿拉伯数字，发报机发送的断断续续的电流信号，通过长长的电线流过收报机



▲ 1876年的电话机，听筒和话筒还无法拿在手上

上的电磁铁线圈，滴滴答答时断时续地吸动铁片，铁片开合的时间恰与发报机送出的信号完全一致。如果在铁片上系一支铅笔，用钟表机构驱动一条纸带匀速地在铅笔下通过，纸带上就会清晰地留下发报员发送的点线组合笔迹，译电员可据此解读函件内容。当时，这种电报机每分钟可以发送10个字。

莫尔斯的发明，使电报信息由空间组合变为时间序列，解决了电报技术实用化中最大的难题。后来，人们把他发明的这种代表字母和数字的点线组合称为“莫尔斯电码”。这是人类在早期电报通信中运用最成功的软件技术，直到今天，世界许多地方仍在使用它。

莫尔斯电码发明不久，人们很快便意识到电报对于国际交往的意义。1850年，英国工程师雅可布和布瑞特成功地铺设了穿越英吉利海峡的海底通信电缆，实现了英法两国之间的直接电报联系。这种前所未有的通信电缆以橡胶作为绝缘材料，紧紧地包裹导电性能良好的多股铜芯线和51根绞合在一起的钢丝，这种电缆可以承受大海的风浪冲击和自身的巨大重力。电报系统采用莫尔斯电码，电缆中用铜制成的芯线和海水共同构成了传送信号的通路，这时，通信技术的新发明，已经发展成为浩大的工程。

1859年，法国人普朗泰（1834—1889）发明了蓄电池，从此人们可以“储存”电能。

普朗泰将两片金属铅浸泡在稀硫酸中，用直流发电机的两条输出线与其相接，发电机输出的电流使它们发生电化学反应，变成一种可以自行产生电压的电池，普朗泰把这一过程叫做“充电”。充过电的蓄电池可以像伏打电池那样自动输出电流，储存的电用光之后还可以再充电。伏打电池只能使用一次，而普朗泰的蓄电池则可以反复使用。为了使这种发明实用化，普朗泰曾将妻子的天鹅绒裙剪下一大块，用它裹住一块铅板，然后外面再套上一层铅皮，放入稀硫酸里浸透，最后将它们一起塞进瓶子，做成了最早的蓄电池。这件发明直到今天仍无太大改变，全世界所有的汽车都在使用这种蓄电池，潜艇悄无声息地在海底航行时，亦靠这种蓄电池储存的电能提供动力。



▲ 1880年美国的一个电话交换台

1867年，德国工程师西门子（1816—1892）对皮克希的发电机进行实质性的改进，完成了发电机实用化进程中最重要的发明。他利用发电机自身发出的电供应电磁铁产生强大的磁场，发电机发出的电愈多，磁铁的磁场愈强，这促使发电机发出更多的电，令发电机的输出功率迅速增加。这种发电机被称为“自激式发电机”，即使用转速不很高的机器带动它，也可以产生很强的电流。

1873年，在奥地利维也纳举行的国际博览会上，由于工作人员疏忽，他们把西门子发明的两台自激式发电机的输出线连在了一起，当一台发电机转动起来后，另一台发电机也莫名

其妙地转动起来，而且这种转动速度和力量超过了以往任何一台电动机。人们欣喜若狂，梦寐以求的大功率电动机居然意外地诞生了。技术人员临时搭建了一个表演厅，用人工瀑布驱动发电机，用它发出的电带动另一台用发电机改装的电动机，进而带动水泵喷出泉水。在这戏剧性的场景中，大功率发电机和电动机双双登场，它们被迅速地广泛应用于许多领域。从此以后，电以不容置疑的姿态进入工业社会。

1871年，移民到美国的意大利人梅乌奇（1808—1889）发明了电话。电话的使用，大大地提高了人类活动的效率，相距千里的人们可以轻声细语交谈，每个人都可与世界保持联系。

梅乌奇早年在意大利佛罗伦萨学习机械工程。在担任舞台技师时，为了便于同事们相互联络，他曾发明一种很简便的通信系统。后来他移居古巴，在研究电击疗法时发现，声音可以通过铜丝传导，这令他兴奋不已。1850年，梅乌奇移居美国，在纽约附近研究能够传播声音的机器。

梅乌奇的妻子瘫痪在床，他用自己研究成功的通信系统，把妻子的房间与隔壁自己的实验室连接起来，以便随时照应妻子。1860年，他在纽约公开演示了这种“能够讲话的通信器”。梅乌奇不会讲英语、不善交际应酬，穷困潦倒无力把实验继续下

去，他的妻子以6美元的价格，把他的通信系统卖给了二手货商店。不久，梅乌奇又做了一个更加复杂的通话器，用电磁铁的舌形簧片感受声音引起鼓面皮膜振动，簧片位移引起线圈电流变化，变化的电流通过导线引起另一个远端的电磁铁上的簧片振动发出声音，这就是今天的电话。

1871年，梅乌奇为这项发明申请美国专利，可是他付不起250美元的专利申请费，出于无奈，他把电话样机和技术资料交给了当时有名的西联电报公司，希望获得一笔合同，结果石沉大海，样机和资料均不知去向。几年后，曾与梅乌奇同在一个实验室工作的贝尔（1847—1922），于1876年1月在美国申请了电话专利，并获得了西联电报公司的合同。同年3月，美国专利局批准了贝尔的申请，专利号为174465。为此，梅乌奇曾连续13年上诉，然而无人受理，梅乌奇于1889年含恨离开人世。

经过很长时间的调查，2002年6月，美国国会正式通过一项决议，认定梅乌奇才是电话的发明者，并在决议中谴责了贝尔。梅乌奇死后113年，真相才大白于天下。

1879年，美国人爱迪生和英国人斯旺（1828—1914），分别发明了碳丝白炽灯。电灯开始取代油灯和煤气灯，从而减少了由于照明引起的污染和火灾。电灯使许多工厂能日夜开工，使人们能在室内长期从事精细的工作，使矿工在井下作业更加安全。有了电灯，人类开始改变“日出而作，日落而息”的生活方式，开始了用电照明的新纪元。

19世纪初，人们已经发明了电弧灯，但由于这种灯容易点燃其他物品，且发出的光太刺眼，价格昂贵又费电，因此一直未进入普通人的家庭。然而，用电照明的诱人前景

激励人们继续探索。斯泰特曾经尝试用白金丝在玻璃泡中通电加热，在短暂的时间里，白金丝发出了明亮的白光，但是由于玻璃泡中有空气，灯丝很快便烧断。发明白炽灯的主要困难是必须抽去灯泡中的空气，找到在高温下能长时间发光的材料，当时这几乎是不可能的，许多科学家放弃了这种探索。

有时科学家和发明家面临的问题有所不同，科学家努力探寻自然界隐秘的规律，发明家则要解决人类面临的实际问题，这使他们表现出不同的气质和智慧。

白炽灯的发明，完全是两个普通人以非



◀ 19世纪末，欧洲街头用电灯照明的情景

凡的毅力和耐心完成的。制造白炽灯，首先需要改进抽气机，当时抽气机还停留在18世纪研究大气压力的水平，尚没办法抽掉容器中残留的空气，能买到的抽气机都不好用。当时还发生过这样一件事：当爱迪生一筹莫展的时候，一位雇员兴冲冲地跑来告诉他：“可以乘热气球到达高空，那里空气稀薄，可以在气球上把灯丝封进玻璃泡里！”他让那位雇员马上去准备热气球，随后

又紧紧锁住眉头：“在那里怎么呼吸呢？”说完又重新投入抽气机的改进之中。后来他终于解决了抽气机漏气以及提高抽气效率的问题，使灯泡获得了必需的真空。

白炽灯的灯丝既要能导电，又必须有足够的电阻，而且还要在高温下不熔化、不变形。为了寻找适合做灯丝的材料，爱迪生做过6000多次试验，有一次甚至拔了来访的友人几根胡须当灯丝（当然也失败了，因为胡须的主要成分是蛋白质，加热就会烧掉）。最后他将中国折扇骨架上的竹丝炭化，最终做成了耐热的灯丝。1879年10月21日，爱迪生发明的电灯亮了13小时。后来他用炭化绵丝代替了竹丝，又用更耐用的炭化纸条代替

电影是电赠送给人类的一件意外的礼物，人类从未奢望获得它。

▼ 中国内蒙古自治区伊敏河畔的一座现代化火力发电厂，一个储量巨大的露天煤矿就在电厂旁边。人们建设发电厂的努力已经持续了一个多世纪，这种努力还将继续下去



绵丝，推出了他的白炽灯商业产品。

白炽灯发出的光明柔和，可以非常方便地照亮房间的每个角落，几乎克服了电弧灯所有的缺陷。人在这种没有油烟味的灯下活动，感觉非常舒适。白炽灯的出现，成为19世纪末美国和欧洲社会生活中最热门的话题之一，它标志着电可以进入每个家庭。

1881年，英国建成第一座水力发电站，第一次把江河水流蕴涵的能量直接转化为电能，这种能量可以方便地用两条金属导线将其传输到遥远的地方。

第二年，爱迪生在美国纽约建成第一座火力发电站，用蒸汽机驱动发电机，将煤燃烧产生的热能转化成电能。这座电站功率500千瓦，主要为城市照明供电。而后，城市开始出现像蜘蛛网一样的电线，电厂发出的电，主要用于电灯和电动机。这时，发电、输电和用电，已开始形成社会化服务体系，能源和用户实现了空间上的分离。

1883年，瑞典人德拉瓦尔（1849—1913）发明汽轮机，利用高温高压蒸汽直接驱动叶轮转动，它的运转速度高得惊人，每分钟可达1.8万转。汽轮机的转轴和发电机相连，能够充分利用煤的热能提高发电效率。从此人们可以用煤产生廉价的电力，电开始进入越来越多的领域，蒸汽机逐渐退出历史舞台。

1888年，法国人勒普兰斯发明了电影，从此世界上产生了一个令人瞩目的新行业。这个行业专门生产活动的影像，这些影像可以像货物一样“搬运”到世界上任何地方，并且随时可供人们观看。这些影像有故事，有大自然的奇观，有的记录真



▲1901年，马可尼建在加拿大纽芬兰的无线电信号接收站

人类大约用100年的时间铺平了通往电气时代的道路，也为现代科学技术的诞生准备了最必需的知识基础和物质条件。

人真事，还有形形色色的艺术。勒普兰斯充分利用人眼的视觉暂留效应，使画面在电灯投射出的强光中不间断地变换，在观众视觉中造成连续运动的印象，创造了电影这种不可思议的技术。巴西的一位皇帝第一次看到电影的时候，惊讶地说：“它简直是光和电写成的历史！”

勒普兰斯在发明电影之后的第二年失踪，此后下落不明。

电影是电赠送给人类的一件意外的礼物，人类从未奢望得到它。

1895年，一位年轻的意大利人马可尼（1874—1937）发明了无线电通信技术。从此，携带人类信息的电磁波开始在空间自由旅行，人们不必依赖电线，就可以在遥远的地方互通信息，还可以借助电磁波获得大自然的信息。

拥有一半爱尔兰血统的马可尼出生在一个富有家庭，13岁时进入意大利一所普通的技术学院，他对科学实验具有浓厚的兴趣。1894年，马可尼在度假期间，从他的老师为赫兹写的讣告中知道了电磁波。一种强烈的内心冲动使他立即返回家中，将自家楼顶的小房间用作实验室，请弟弟当助手，开始进行电磁波通信的实验研究。

赫兹在1888年发现电磁波时，发射机与接收机之间的距离只有几米远，当时在实验室中产生的电磁波，其传播特性与可见光很相近。在专门研究电磁波的学者中，几乎无人尝试把它应用于通信。在这个全新的领域，马可尼遇到了三个难题：第一是电磁波接收器的灵敏度很低，收不到微弱信号；第二是电磁波难以绕过障碍物；第三是发射机的信号在周围迅速衰减，不能到达远方。

当时，人们已不再使用火花放电的方法检测电磁波，而是改用法国科学家布兰利在1890年发明的“金属粉检波器”。这种“检波器”是一种填充金属粉末的小玻璃管，两头各有一条引线，当有电磁波时，金属粉末颗粒就会紧紧地靠在一起，使电阻减小；如果通过它使电池与电铃相连，那么在探测到电磁波时，就会铃声大作。但是这种“检波器”一旦接收到电磁波信号，粉末就不再松开，因而无法区分莫尔斯电码的信息。马可尼设法使莫尔斯电码产生的电流通过电磁铁线圈，电磁铁会短暂地吸动一个小锤轻轻敲击“检波器”，这样每次收到信号，粉末就会自动松开以连续接收莫尔斯电码。同时，马可尼还改进了这种“检波器”，用镍粉替代锌粉，显著地提高了“检波器”的探测灵敏度。他为赫兹用过的那种发射机加上两块铁板，降低电磁波的频率，使它能够绕过地面的障碍物逐渐增大通信距离。1895年9月，当马可尼试图拉开两块铁板之间距离的时候，发现通信距离显著增加，于是他干脆把一块铁板插到地上，在另一块铁板上竖起

一根长长的导线，使通信距离达到了2000米。采用这种单独竖直向上的导线，是马可尼的创举，他称之为“天线”。

天线成为无线电通信技术突破的关键，它既可使发射机的信号传向远方，又可汇集空间的电磁波信号，显著地提高接收机的灵敏度。

当马可尼在父亲的陪伴下到意大利邮政部长官邸请求支持的时候，这位部长说：“意大利不需要无线电。”

1896年，马可尼在母亲的陪伴下，带着他的无线电收发报机来到英国。当时英国正为寻找有效的海上通信方式发愁，邮电部门热情地支持了马可尼的研究。1899年，马可尼实现了跨越英吉利海峡的无线电通信，海峡的宽度为45千米。

马可尼表示下一步将努力实现欧洲和北美大陆之间越过大西洋的无线电通信。一位大学教授十分不以为然地说：“这是不可能的。电磁波像光一样传播，它不可能越过大西洋弧形海面凸起的230千米高度，除非在很高的高空悬挂一面与大西洋一样大的镜子，让它把电磁波从英国反射到美洲去。”马可尼没有理会，继续改进他的天线、发射机和接收机，他在英国康沃尔海边建造了一座高57米的发射塔，而后再匆匆赶往加拿大的纽芬兰，在面向大西洋的海港山顶建造一个接收站，用风筝把接收天线升高至400米处。1901年12月12日，马可尼收到了从大西洋彼岸发来的清晰的莫尔斯电码。20年之后，人们才知道大西洋上空确实有一面“大镜子”，这就是电离层，电离层反射了从英国发出的电磁波。

人类大约用100年的时间铺平了通往电气时代的道路，也为现代科学技术的诞生准备了最必需的知识基础和物质条件。在这个世纪，人类的生产方式和生活方式再次发生巨大的变革，出现了不可胜数的新事物。

电的真正魅力在于，它为人类提供了一种传输和控制能量最理想的方式，使人类获得了一种以光速传输信息的载体。能量和信息是人类活动永恒的主题，电将长久地陪伴人们生活在这个美丽的地球上。■

电为人类提供了一种传输和控制能量最理想的方式，使人类获得了一种以光速传输信息的载体。能量和信息是人类活动永恒的主题，电将长久地陪伴人们生活在这个美丽的地球上。

十 驾驭电子

即将告别19世纪的时候，科学家发现了物质世界最小的微粒——电子。发明家开始探索运用电子的途径，大约经过100年努力，人类开始步入信息时代。

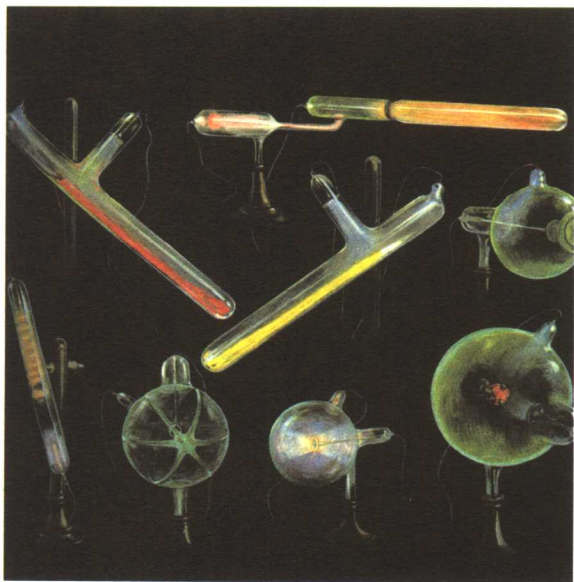
当欧洲和北美许多城市已经电灯通明、马达飞转的时候，人们仍然不知道电到底是什么。科学家在实验室里对气体放电现象进行细微的观察研究时，无意中揭开了谜底，发现了藏身在一切物质之中的带电微粒——电子，开始发明控制电子运动的方法，人们对电的认识达到了一个新的高度。

在19世纪电学发展的鼎盛时期，一些科学家出于兴趣，开始研究稀薄气体的导电特性。这些实验是在密封的玻璃管中进行的：玻璃管两端分别嵌入一个金属电极，管中空气的大部分已被抽气机吸走，当两个电极之间加上电压时，稀薄的空气就变成了导体，通过电流的时候，玻璃管中会出现明亮的辉光。辉光非常美丽，很像北半球高纬度地区出现的极光。如果改变玻璃管中气体的密度或成分，辉光的色彩与亮度会发生变化。曾

科学家对气体放电现象进行细微的观察研究时，发现了藏身在一切物质之中的带电微粒——电子，开始发明控制电子运动的方法，人们对电的认识达到了一个新的高度。

经发现电磁感应现象的英国物理学家法拉第，也研究过辉光放电，他曾发现辉光柱上有一小段不发光的区域，人们称之为“法拉第暗区”。

1858年，德国物理学家普吕克尔（1801—1868）注意到，当放电管中空气非常稀薄时，辉光会变得越来越暗淡，光柱最终消失，只在玻璃



▲ 多种多样的气体放电管

容器内壁正对阴极的地方发出淡淡的绿色荧光。他在放电管的两个电极之间插入一个小小的挡板，荧光里便出现挡板的阴影，阴影的轮廓和挡板的外形完全一致。1876年，德国物理学家哥尔茨坦（1850—1930）认为，这是一种从阴极发出来的射线，由于玻璃管中没有气体分子阻挡，它可以直接到达对面的容器内壁使其发光，因此人们称之为“阴极射线”。

科学家喜欢把那些从物体中发出的具有确定物理、化学或生物学效应，然而又看不见的物质称为“射线”。

1871年，英国物理学家瓦尔利（1828—1883）发现，阴极射线会在磁场中偏转，很像带电粒子；英国物理学家克鲁克斯（1832—1919）发现，这种射线可以推动金属箔做成的小飞轮在真空中旋转；曾经发现电磁波的德国物理学家赫兹注意到，这种射线可以穿透很薄的金属片。赫兹的学生勒纳德（1862—1947）还发现，真空中的阴极射线穿透厚度为0.000265厘米的铝箔后，还能在空气中继续穿行1厘米。德国科学家认为阴极射线是电磁波，而英国科学家则认为它是带电粒子。

在追踪阴极射线的时候，人们意外地发现了X光。

1895年11月8日，德国物理学家伦琴（1845—1923）在一次实验中，将阴极射线放电管包上厚厚的黑纸，防止外部光线扰乱阴极射线。然而，他注意到在离射线管1米远的地方，有个氰化钡做成的荧光屏，随着阴极射线管每次放电，这个荧光屏一闪一闪地发光。伦琴把这个荧光屏挪至远处，它照样闪光；他又在阴极射线放电管和荧光屏之间放上书、木板和铝片，荧光屏还是闪光；只有在它们之间放上铅块或厚厚的铁板时，闪光才会消失。显然，阴极射线管中发出的是一种穿透力很强的射线，但不会是阴极射线。

在实验室里，伦琴连续工作了6个星期，仔细地研究这种射线与加在放电管上电压



▲ 伦琴为夫人戴戒指的左手拍摄的X光照片

的关系，研究各种物体对这种射线的吸收特性，以及射线在各个方向的强度分布。他将手掌放在阴极射线管和荧光屏之间，荧光屏清晰地显现出手掌的骨骼。这种射线还会使照相底片感光，他用感光胶片拍摄他的夫人戴有戒指的纤细的手，结果照片不再富有诗意，那上面的手指就像是骷髅的指骨，套有一件不相干的金属圈。随后，他向外界公布了自己的研究结果，那张不可思议的照片尤其令世人大为震惊。

伦琴把来历不明的这种射线称为“X射线”，因为在数学中人们习惯用“X”代表未知数。今天，人们知道“X射线”是发自阴极的电子在电场

中加速后，打在物体上突然减速辐射的电磁波。

利用X光，人们能够看到身体内部的许多组织结构，发现骨骼的损伤和嵌入身体的金属弹片，从而帮助医生诊断疾病。

X光有着巨大的实用价值，伦琴没有为自己申请技术专利，他说，就像空气和阳光不应该申请专利一样，X光也不应该申请专利，他希望全世界的人都能够利用它。X光技术迅速地普及至世界各地，有力地推进了医学进步。

伦琴在1901年获得首次颁发的诺贝尔物理学奖，他晚年仍然过着贫困的生活，在德国大萧条的岁月中寂寞地死去。

1897年，英国物理学家汤姆孙（1856—1940）对阴极射线进行更加精确的实验研究。他继续改进真空泵，进一步提高放电管的真空度之后，发现了阴极射线在电场中的偏移现象。赫兹在1891年曾做过类似的实验，但由于真空度不高，在偏转电极之间发生了气体放电，不能产生使阴极射线偏转的力量，因而导致赫兹对这种射线本质的误解。汤姆孙测量了阴极射线在磁场中偏转所形成的弧线半径，用热电偶测量出阴极射线打在阳极上产生的温度变化，从而计算出这种射线的速度比电磁波低得多。他在射线管中充入不同气体，并且用不同材料制成的阴极做实验，但得到的结果完全相同。他确信，阴极射线是一种带负电的微粒，与气体成分或阴极材料无关，它存在于一切物质之中。

1897年4月30日，汤姆孙向英国皇家学会报告自己的

伦琴没有为自己申请技术专利，他说，就像空气和阳光不应该申请专利一样，X光也不应该申请专利，他希望全世界的人都能够利用它。

研究结果，这篇报告对阴极射线的本质做出了最终的科学论断。后来，汤姆孙用“电子”一词命名他所确认的这种带电微粒。从此，科学史家将人类发现电子的时间定为1897年。

布劳恩利用电子束做成了世界上最轻便灵活的“笔”，这种奇妙的“笔”可以描绘稍纵即逝的电学现象，根据电子留下的踪迹，人们可以从容地观察电信号的变化过程。

就在汤姆孙发现电子的1897年，德国发明家布劳恩（1850—1918）完成了应用电子技术的第一件发明——利用电子束做成了世界上最轻便灵活的“笔”，这种奇妙的“笔”可以描绘稍纵即逝的电现象，根据电子留下的踪迹，人们可以从容地观察电信号的变化过程。

布劳恩的发明是这样实现的：在抽成真空的阴极射线管里装上圆柱形空心电极，加上电压，阴极发射的电子在穿过这种电极之时受到静电力的约束，就会聚成细束；在电子束通过的路径安装两对相互垂直的金属平行板电极，其中一对电极使电子束跟随加在电极上的电压信号上下垂直运动，另一对电极使其左右水平运动，在与阴极相对的玻璃管壁上均匀地涂敷一层矿物质细粉（例如硫化锌），电子束打在上面会产生黄绿色光斑，这种可以发光的涂层称为荧光屏。如果使电子束在水平方向做等速运动，荧光屏就会显现加在垂直偏转板上的电压随时间变化的过程。（电子的这种工作方式被称为“扫描”。）

这项发明为科学家提供了梦寐以求的观测仪器，使人们能够超越感觉器官的局限，直观地研究电的变化过程。它为后来电视、雷达和电子显微镜的发明，奠定了重要基础。

布劳恩是一位具有深厚科学功底的发明家，他在德国柏林大学获博士学位后，同时在德国三所大学从事学术研究。1874年，他发现某些金属硫化物具有使电流单方向通过的特性，利用它们做成了无线通信不可或缺的检波器，开创了人类研究半导体的先例。19世纪90年代，当他得知人们正在研究阴极射线时，又立即转向这一新领域，产生了使这种射线聚焦、扫描的构想。

布劳恩在无线电通信技术领域也有很多重要的发明，他发明了磁耦合天线，使无线电发射机和接收机不必直接与天线相连，减少了雷击的危险，增大了通信距离，今天所有的收音机、电视机、电台和雷达都在使用它们。他还发明了定向天线，使电磁波按照人们的设想沿预定的方向传播，提高信号传输的效率，减少电磁波能量无谓消耗和通信系统之间的相互干扰。由于布劳恩在无线电通信技术方面的贡献，他在1909年和马可尼一道获得诺贝尔物理学奖。



▲真空二极管，玻璃壳中的圆柱形套筒是收集电子的阳极，其中的螺旋金属丝是加热发射电子的阴极

管。

真空二极管中有一条灯丝和一个孤立的金属电极，这个电极被称为阳极。当灯丝加热时，如果在阳极加上正电压，电子就会在静电力作用下到达阳极，使阴极与阳极之间有电流通过；如果在阳极加上负电压，静电力将阻止电子运动，电子会滞留在灯丝周围，使电流中断。由于电子很轻，惯性很小，真空二极管可使频率很高的无线电信号被整流检波成为人们需要的信息。弗莱明用它替代无线电接收机里的金属粉末检波器和晶体检波器，使微弱的高频无线电信号能够还原成所传输的电码信息，无线电接收机的灵敏度显著提高。

弗莱明的发明直接得益于爱迪生早年的发现。

为了提高白炽灯寿命，爱迪生曾使用许多稀奇古怪的办法进行试验。1881年，他在灯丝旁边装上一个孤立的金属电极，当灯丝点亮时，这个电极上总会出现电流，他连续试验了两个星期，这种电流总是存在。爱迪生详细地记录了每一次试验的结果，认为是灯丝和电极之间漏电，并且认为这个孤立的电极对提高灯丝寿命没有帮助，便停止了这项工作。

实际上，爱迪生观测到的电流正是灯丝受热后发出的电子流，他应该是最早发现电子的人。由于爱迪生当时缺乏探究自然奥秘的兴趣，功利的追求使这位发明家只关注具有实用价值的事物，因而错过了发现电子的机会。后来人们把加热灯丝发射电子的现象称为“爱迪生效应”。

1906年，另一位美国发明家福瑞斯特（1873-1961），对真空二极管做出重大改进，发明了真空三极管，开辟了电子学发展的新途径。

不幸的是，这位杰出的发明家、诺贝尔物理学奖获得者成了第一次世界大战的牺牲品。为解决一件关于无线电通信技术方面的专利纠纷，布劳恩于1917年到美国参加听证会，其时美国介入第一次世界大战，美国政府以“布劳恩是敌对国公民”为由拘禁了他。第二年，布劳恩死在美国。

1904年，美国发明家弗莱明（1849-1945）采用在真空中利用电流加热灯丝的办法，轻而易举地获得逸出物体的自由电子，并用它做成了一种效率很高的无线电信号检波器——真空二极

福瑞斯特在真空二极管的灯丝和阳极之间，加装一个独立的金属栅网，称作控制极。改变栅网上的电压，便可控制到达阳极的电子数量。如果在栅网上加一个很小的电压信号，在阳极上便可得到与其变化规律完全相同、幅度大得很多的

真空三极管是一种能量转换装置，就好像是电信号的加油站，这项看似简单的发明，翻开了电子技术发展史新的一页。

电信号，这种简单的器件可以使电信号增强。真空三极管是一种能量转换装置，就好像是电信号的加油站，这项看似简单的发明，翻开了电子技术发展史新的一页。

自从1837年人类开始应用电传递信息以来，一个麻烦的问题始终困扰着人们：电信号在传输的路径上会衰减，变得越来越小，以致最后消失得无影无踪，因而限制了通信距离。1876年，美国费城举办国际博览会，电报公司向全世界招标，寻求解决大西洋海底电缆电报信号传输衰减的技术方案，结果无人中标。福瑞斯特发明真空三极管，使电信系统中信号衰减不再成为问题。人们通过真空三极管很容易使衰减的电信号重新增大，通信质量明显改善，通信距离大幅度增加。从此，使用电信技术的客户迅速增多，电话、有线电报和无线电通信出现了新的发展高潮，电信号把世界更多的地方联结在一起。

真空三极管的发明，使无线电广播迅速成为一种大众传媒，收音机成为一种时尚家电。利用真空三极管，可以产生功率强大的高频无线电信号，同时使声音变成的电信号叠加在上面，向幅员辽阔的地域播送语音信息。人们可以在远离电台的地方接收这种无线电信号，通过真空三极管充分放大，重新把声音信号分离出来，推动扬声器再现播音员的话语和演员的歌声。1920年，美国匹兹堡建立了第一座面向公众的无线广播电台；1922年，美国无线电公司编制了第一份无线电产品目录，名称为“家用无线电”。该产品目录显示，当时价格最贵的收音机有4个真空管，售价401美元。同年，美国无线电公司生产出第一台手提式电子管收音机。

真空三极管产生的高频电信号可使人体某些组织发热，从而改善血液循环，有助于医生治疗疾病；它还可用于熔炼金属（例如在洁净的坩埚里制造难熔合金），对金属材料进行淬火处理，改善工具、机器零部件的性能等。无线电电子技术开始跨出通信系统，进入人类活动的更多领域。

福瑞斯特在许多领域都有建树，他在电话、彩色电视、雷达和射频热治疗医学领域有300多项专利。

福瑞斯特出生在美国衣阿华州，父亲是一位热爱天文学的行政长官。父亲探究大自然的兴趣，激起了儿子心中热爱科学的火花。福瑞斯特在耶鲁大学毕业后，于1899年获

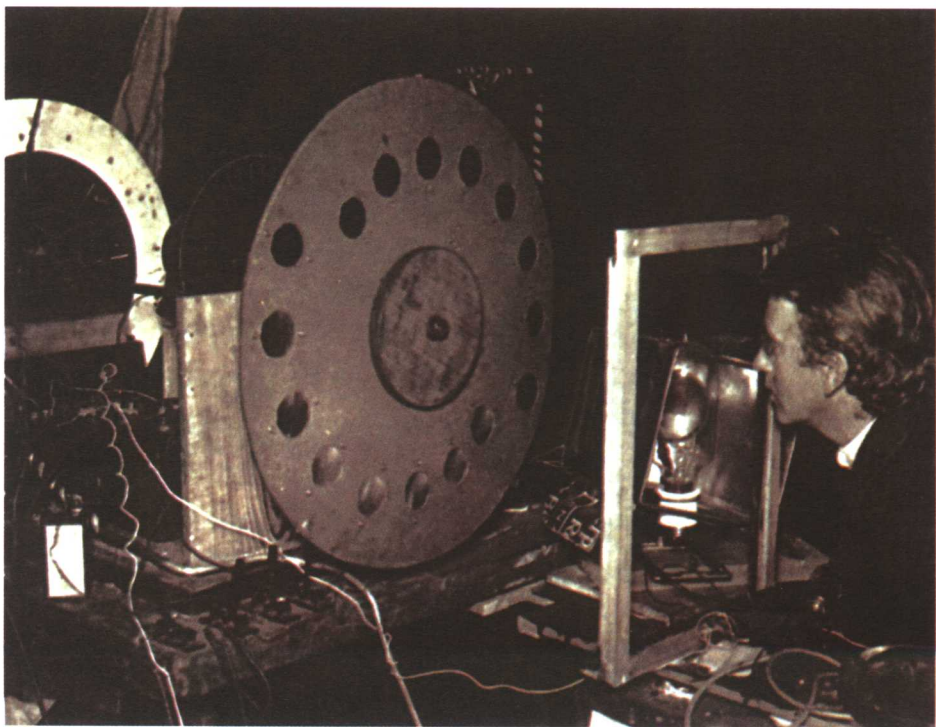
理学博士学位，其博士论文题目为《电磁波反射特性的研究》，这是美国研究电磁波的第一篇学术论文。

福瑞斯特虽然是一位聪慧的科学家、发明家，但他却是一位不成功的企业家。在得知马可尼发明无线电技术之后，他便投入改进无线电信号检波器的研究。为克服金属检波器的缺陷，他发明了电解质检波器，利用某些无机化合物溶液单向导电的特性，使交流电信号变成单向传输的电流；他成立“美洲福瑞斯特无线电报公司”，并在全美建立销售网络，向美国陆军销售他发明的装置。由于这项发明与另一位发明家费森登（1866—1932）的发明有相近之处，福瑞斯特于1903年在专利纠纷中被诉侵权并被法院判决败诉，为此，他的公司倒闭。

在逆境之中，福瑞斯特转向研究无线电应答机，为提高应答机的接收灵敏度，他发明了真空三极管。作为电子学装置的核心器件，真空三极管一直推动着电子技术前进，直至1947年，三位美国科学家发明晶体管，它才逐渐退出历史舞台。

1925年，苏格兰人贝尔德（1888—1946）实现了用电信号传送活动图像的构想，

▼ 贝尔德正在试验自己的电视系统



发明了最早的电视。

贝尔德采用的方案非常富于想象力。他借用电影的做法，使不断变化的景物分割为间断的画面，并连续发送这些画面，利用人眼的“视觉暂留”效应，产生连续影像的效果。首先，他通过透镜使需要传送的画面会聚成一幅缩小的清晰图像，在离景物影像不远的地方安放一个对光线敏感的元件，当时他使用的元件是可以在光照下产生电流的硒片；然后，在物像与硒片之间放置一个圆盘，盘上有许多按照特定空间位置分布的透光孔，当圆盘快速转动时，物像不同部位发出的光通过转盘上的小孔依次从左到右、从上到下投射到硒片上，使硒片依次产生随图像不同部位亮度变化的电流；这种随时间迅速变化的电流经过真空三极管放大传向远方，使一个灯泡发光，灯泡亮度变化则与景物影像不同空间位置的明暗变化一致，它发出的光通过一个同样结构和转动方式的多孔透光圆盘投射到幕布上；当这两个同步转动的圆盘旋转足够快时，远方幕布上就会呈现出与实际景物大体相似的影像。

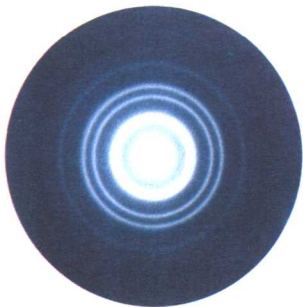
贝尔德曾在英国皇家技术学院和格拉斯哥大学学习，当时，英国正参与第一次世界大战，他打算应征到部队中担任无线电通信技术军官，但由于体弱多病未能如愿，当了一名电气工程师。然而他决意做一名专业的“业余无线电爱好者”。贝尔德对无线电领域的许多问题有着浓厚的兴趣，由于缺乏必需的研究条件屡遭失败，这曾使他几近精神崩溃。在得知马可尼发明的无线电技术成功地实现了声音传送之后，贝尔德萌生了用它传送活动影像的想法。

贝尔德最初研究电视的时候，人们认为他的想法稀奇古怪不切实际，无人给予他经济支持。他白天替人推销皮鞋油，晚上在狭小的顶楼做实验，

每天的收入只够买面包付房租，他的很多样机是用饼干筒、自行车灯聚光镜以及鞋带捆扎的铁条支架做成的。

1925年10月2日，贝尔德成功地把一个活动玩偶的舞蹈动作图像，从顶楼的一个角落传送到另一个角

贝尔德最初研究电视的时候，无人给予他经济支持，他白天替人推销皮鞋油，晚上在狭小的顶楼做实验，每天的收入只够买面包付房租。今天，数以亿计的人都会坐在电视机前观看世界风云变幻、人间喜怒哀乐、宇宙万千气象。电视已从一件技术发明成为一种文化。



◀ 电子衍射图像，穿过金属箔之后，电子留下一幅明暗相间的光环图像

落。贝尔德激动万分地跑下楼，把杂货铺里的小男孩拉上来当他的第一位电视观众。贝尔德一夜成名，许多投资者纷纷解囊，希望他实现更大的目标。1927年，贝尔德实现了从伦敦到格拉斯哥之间的电视信号传送。1928年，贝尔德的电视信号从伦敦传送到纽约。此外，贝尔德还发明了转盘式彩色电视，提出了投影电视的设想，他认为应该让人们像看电影那样享受电视。

贝尔德发明的电视在实际应用中有三个严重的问题：机械转盘小孔扫描速度不够快，通过小孔投射的光斑太大，图像既闪烁又不清晰；灯泡的亮度变化滞后，使再现的图像和原来真实的情景不一样；两个转盘在机械上不容易同步，需经精细调节才能观看稳定的画面。而且这种电视装置庞大，不适宜在室外播送电视节目。贝尔德发明的是一种光学机械电视，从原理上说，这些问题当时难以解决。

1931年，出生在俄罗斯的美国发明家楚里金（1889—1982），采用在电场和磁场控制下的电子束再现活动图像信息的方法，克服了机械转盘电视系统的缺陷，实现了电视技术的实用化，奠定了现代电视技术基础。

楚里金改进了布劳恩发明的阴极射线示波管。他在示波管底部涂敷可以在光照射下产生电荷的材料，用从左到右、从上至下扫描的电子束使图像亮度的空间分布转换成随时间变化的电流。这种电流可以通过导线或电磁波远距离传输，控制另一个示波管中的电子束，使其产生由左至右、由上而下的扫描运动，并把随时间变化的电流还原成不同空间位置的亮度变化，在荧光屏上再现原有景物。由于电子可以聚成很细的电子束，在电场和磁场控制下迅速移动，因而能够获得清晰、稳定的画面。

楚里金把产生电视信号的器件称为光电摄像管，把再现影像的器件称为电视显像管，由于在这两个器件中的物理过程几乎是同时发生的，所以传输的图像基本上没有滞后。

在传送电视画面的时候，楚里金采用的方法就像是以一种特殊的方式搬动一块花布到另外一个地方：首先沿水平方向抽取花布最上方的第一条纬线，紧接着抽取第二根、第三根……直到抽完最后一根。这些抽出的线被首尾相连牵拉到另外的地方，并重新按顺序复原，这些纬线便组成了与原来花布一样的图案。只要抽运和重组的速度足够快，这块花布就好像在一瞬间挪动了地方。

楚里金的父亲是经营船舶航运的商人，一心希望儿子继承家业，但尊重儿子的选择，送他去彼得堡技术学院学习电气工程。1912年楚里金毕业，接着，他到法国跟随物理学家朗之万（1872—1946）研究X射线。1914年俄罗斯参与第一次世界大战，楚里金中断了研究工作担任无线电技师，使他有機會了解无线电装置的内部结构和相关知识，

为日后的发明打下了基础。

第一次世界大战结束，楚里金举家移居美国，在威斯汀豪斯公司从事阴极射线管研究，在不足五年的时间内，他发明了光电摄像管；不到一年他又发明了电视显像管。可是，热衷制造发电设备的威斯汀豪斯公司对他的发明不感兴趣。1929年，楚里金转入美国无线电公司后，获得了400万美元的资金支持，改进和完善了他的电视系统，使他的发明得以实用化，从而完全取代了贝尔德的机械电视。然而，楚里金发明的光电摄像管和电视显像管在43年之后即1968年，才获得专利权。

全电子化的电视于1935年开始在德国向公众播出。1936年，这种电视转播了在德国柏林举办的奥林匹克运动会实况，此时还是黑白电视。全电子化彩色电视于1949年在美国研制成功，1951年第一次向公众播出。

有了电视，人们足不出户可以看到远方发生的事情。今天，电视已经进入全球一半

▼在波多黎各建造的射电天文望远镜天线，利用火山口凹坑铺设金属板反射来自天体的无线电信号，使其会聚在上方悬吊的接收器上。随着地球自转，天线昼夜不停扫描太空



以上的家庭，每天，数以亿计的人都会坐在电视机前，观看世界风云变幻、人间喜怒哀乐、宇宙万千气象。电视已经从一件技术发明成为一种文化。

电子技术领域的发明，拓展了人类获取自然信息的空间尺度。20世纪30年代，科学家开始突破光学显微镜的局限，深入更小的微观世界观察病毒和原子；开始通过电磁波获取光学望远镜无法得到的太空天体信息。

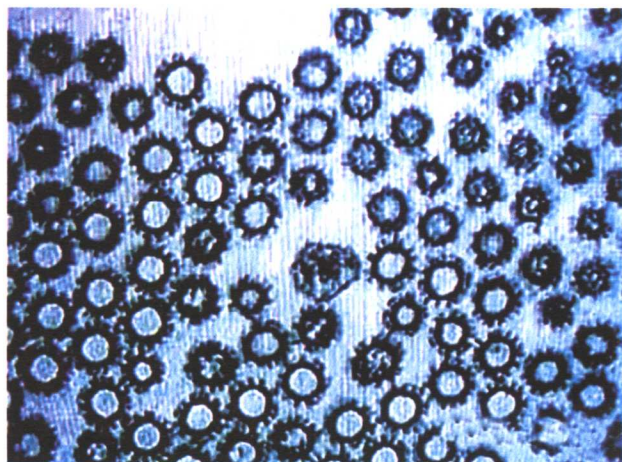
1931年，德国科学家卢斯卡（1906—1988）发明了电子显微镜，利用电子代替光线观察细小的物体。在以往的光学显微镜中，透镜放大率受到光的波长限制，当被观察样品的尺寸与光的波长相近时，光线不再遵循直线传播的规律，图像出现模糊的光斑，透镜所产生的图像不再是样品本来的样子。因而光学显微镜的放大率一般不能高于2000倍，这一限制已困扰科学家200年，使许多微观领域的研究止步不前。

卢斯卡的发明源于电子物理特性的基础研究。此前1924年，意大利物理学家德布

洛伊（1892—1987）曾发现电子具有波动性。电子可以像光线那样成像，激发了人们产生制造电子显微镜的联想。卢斯卡使真空中聚成细束的电子在静电场和磁场的作用下偏转，快速穿透制成薄片的样品，

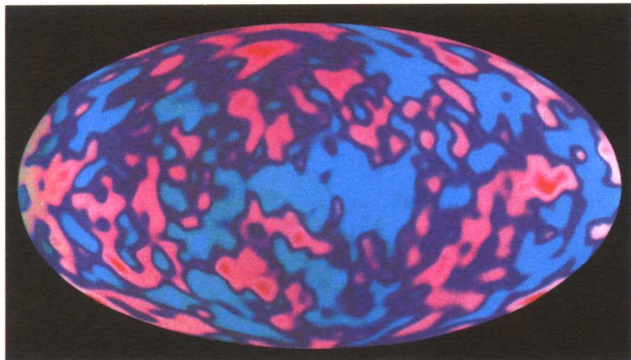


▲电子显微镜下，精子正在进入卵子的情景



◀电子显微镜下的SARS冠状病毒

以扫描的方式投射在阴极射线管的荧光屏上，呈现出样品放大的图像。在电子显微镜中，经过高电压加速的电子，其波长比可见光小几万倍，因而电子显微镜分辨率可比光学显微镜高几万倍，能够使样品放大100万倍以上，甚至可以看见单个的原



▲ 通过太空无线电信号获得的宇宙诞生之初温度分布图像，蓝色小块显示在引力作用下气体正在凝聚成星系

子。由于电子显微镜可以在原子尺度观察微观世界，使人们得以进入材料科学和生命科学的新领域。2003年，当非典型肺炎（SARS）在许多地方肆虐的时候，电子显微镜帮助人们迅速地找到了元凶——SARS冠状病毒。

1931年，年轻的美国工程师央斯基（1905—1950）在研究短波无线电通信干扰时，从接收装置的耳机里听到一种轻微的吱吱声，这种声音几乎每天都会出现，而且约比前一天提前4分钟。央斯基有一位研究天文学的朋友提示他：“相对于太阳，地球自转一昼夜是24小时；而从遥远的恒星上看，地球自转一周需要的时间会短一些，因为银河系本身也在旋转。这种信号会不会来自太空？”央斯基连续观测了一年，最后确认这种无线电信号来自银河系中央的一颗恒星。这一发现开创了无线电天文学，科学家从此打开了另一扇窥测宇宙奥秘的窗口，从此人们开始通过天体发出的无线电信号了解它们。

通过分析来自太空的无线电信号，人们发现了许多用光学望远镜无法见到的星体，观测到太阳发出的变化无常的无线电信号；人们探测到木星大气中剧烈的风暴；还探测到宇宙大爆炸之初产生的电磁波辐射，这些电磁波信号在太空中经过100多亿年才到达地球，通过它们，科学家绘出了宇宙诞生之初的景象。

20世纪30年代中期，科学家发明了雷达。利用雷达，人们可以通过电磁波搜索发现远方的飞机或船舶，并且能够迅速得知它们的距离和航向。

1935年2月，英国科学家第一次利用雷达发现了12千米之外于3000米高空飞行的一架轰炸机。1936年，法国和德国开始在船舶上装备航海雷达，用于防止在迷雾中航行的船只相撞，避免船舶夜航遭遇冰山，也便于尽早发现从水上偷袭的敌舰。

早在20世纪20年代初期，科学家已经发现导电的物体会反射电磁波。他们中有的人

曾从地面垂直向天空发射电磁波，经过短暂的间隔，接收到天空反射的信号。根据电磁波在空气中的传播速度和信号的时间差，人们计算出在离地面50千米以上的地方存在着反射电磁波的物质，这就是电离层。

1922年，马可尼曾提出研制雷达的构想，但当时使用的无线电波频率不够高，波长比飞机和船舶的长度大得多，电波的反射很不明显。而且，发出的无线电波强度不够，反射回来的电磁波信号十分微弱，无法检测。大约经历了10年时间，由于电子技术的进步，人们能够发射足够强、频率更高的信号，并可成功地处理返回的微弱信号，精确测量电磁波往返时间，制造雷达的构想才成为现实。

时间测量的精度直接决定雷达探测目标的精度。例如，当飞机距雷达150千米时，电磁波信号往返的时间大约是千分之一秒，如果时间测量精度达到百万分之一秒，雷达测量飞机距离的精确度可以达到150米左右。

第二次世界大战刚刚开始的时候，英国的雷达警戒系统建设尚未完成，面对纳粹德国的空袭，伦敦当局曾组织盲人到寂静的地方监听空中异常声响，希望借助盲人灵敏的听觉及早发现空袭的危险。

英国在东海岸和南部海岸建成雷达监测网之后，情况就发生了变化。1940年8月，德国出动大批飞机轰炸英国，这些飞机在距英国本土120千米的地方即已被雷达发现，尚未投弹就遭遇英国空军和高炮拦击，德国在一个月中损失了950架飞机。此后，德军再次出动500架飞机轰炸英国，英军依靠雷达提供的信息，出动不多的战斗机便击落了185架德军轰炸机。1940年7月到1941年5月期间，英军在雷达的帮助下用仅有的700架防空歼击机，挫败了德军2400架飞机在空中的进攻。1940年，英国研制出搜索精度更高的微波雷达控制高炮自

▼ 实战中的雷达



第二次世界大战刚刚开始的时候，面对纳粹德国的空袭，伦敦当局曾组织盲人到寂静的地方监听空中异常的声音，希望借助盲人灵敏的听觉及早发现空袭的危险。

动跟踪敌机，使高炮由战争初期数千发炮弹击落一架飞机，提高到数十发击落一架，命中率提高了100倍。

继军用电台之后，电子技术再次用于军事，雷达迅速成为应对敌方空中袭击的预警装置和进行攻击的引导设备。

1945年，人类发明电子计算机。从此，机器开始介入人类智力活动，人们难以估计它们将在多大程度上影响人类未来。

早在17世纪，人们即已开始研究能够进行数学计算的机器。300年来，人们遇到的最大难题是用于计算操作的零部件运作速度太慢，计算速度远不及人脑。然而，自从电子管发明之后，人们发现可利用电子管工作状态的快速变化，替代机械计算器中零部件空间位置和相互关系的变化，能够以电信号表示计算过程中的数据，通过控制电信号的变化完成计算。由于电子运动过程几乎没有惯性和滞后，因此这种机器可以进行以前无法想象的高速运算。

1942年8月，美国宾夕法尼亚大学莫克莱教授（1907—1980），受命为美国军方研制计算火炮弹道的计算机。经过三年研制，1945年获得成功，这台机器的全称是“电子数值积分计算机”。这台计算机使用了1.8万个电子管、1500个继电器、7000个电阻和1.8万个电容器，每秒钟能进行5000次加法运算，比当时的电动机机械式计算机快1000倍。

1946年，从匈牙利移居美国的科学家诺依曼（1903—1957）提出一种新方案，对电子计算机进行重大改进：计算机不再按十进制计数系统操作而改为二进制；用电子管“导通”和“截止”两个状态，分别表示二进制数中的基本单元0和1，电子管的工作状态直接同参与运算的数字对应；计算过程必须遵循的程序和参与计算的数据预先共同存入计算机，运算过程全部由计算机自动控制，人将不再干预。由于这些改进，使得计算机运算速度迅速提高。

诺依曼的发明奠定了现代电子计算机的基础，使其不仅成为有力的计算工具，而且开始在人类活动的许多重要领域担当处理信息的重任。

诺依曼原本是研究纯数学和应用数学的学者，在量子力学、经济学和计算机科学领域都有重要贡献。1926年，他在匈牙利的布达佩斯大学获得博士学位。1926—1930年在德国柏林和汉堡任教，随后移居美国受聘普林斯顿大学，致力于数理逻辑和算法理论研究。1932年，他撰写的一本量子物理学的基础教材，至今仍是经典范本。诺依曼涉猎范

围很广，从基础科学到行政管理都有兴趣，他担任过许多部门的咨询顾问，他参与过洛斯·阿拉莫斯实验室的原子弹设计计算工作，创立了运筹学的新理论。在为军方解决大量繁重手工计算难题的时候，诺依曼提出了新的电子计算机设计理论；而按照他的理论制造完成这台计算机时，第二次世界大战已经结束。这台计算机成为现代高速电子计算机的鼻祖。

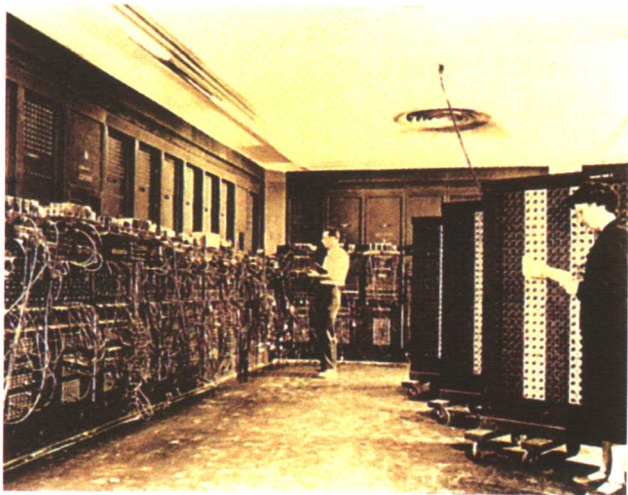
从20世纪中期开始，人们对电子的兴趣渐渐从真空环境转向物质内部。1947年12月，电子技术发生了一次重大变革，三位科学家在实验室里发明了晶体管，人们找到了优于真空三极管的放大电信号的器件。

真空三极管在此前的40年间已经成为各种电子设备的核心器件，然而存在一系列难以解决的问题：一是耗电太多。每个电子管都需通电流加热灯丝，使阴极达到1000摄氏度左右才能发射电子正常工作，1万个电子管构成的计算机耗电大约100千瓦，大约相当于500户人家的照明用电功率，电子设备必须携带庞大的供电电源，使用很不方便。二是体积大。电子管的电极必须装在抽成真空的密封玻璃壳里，电子管难以小型化。稍复杂一些的电子设备即大得像一间房子，无法随身携带。三是不耐用。灯丝有一定的使用寿命，玻璃壳容易破碎。四是启动迟缓，需预热。电子管灯丝必须加热一段时间才能达到必需的温度发射电子，不能做到开机即工作。上述问题不可能通过改进工艺解决，它

1945年，人类发明了电子计算机。从此，机器开始介入人类智力活动，人们难以估计它们将在多大程度上影响人类未来。

他们是电子管固有的缺陷，人们急切希望找到替代它们的新发明。

美国理论物理学家巴丁（1908—1991）和肖克莱（1910—1989），深入分析了电子在半导体材料中运动的规律，打算在半导体材料中通过三个金属电极控制电子运动，通过理论计算提出设计制造晶体管的构想。在实验



▲ 第一台电子计算机

物理学家布拉顿（1902—1987）的配合下，他们依据这种全新的方案，用锗半导体材料制成了具有放大电信号能力的晶体管。这种晶体管没有易碎的玻璃管，没有需要加热的灯丝，不需要抽真空，通电就能工作，其体积可以小得像一粒芝麻，耗电不足电子管的1%，用几节干电池就可以工作。

从20世纪中期开始，人们对电子的兴趣，渐渐地从真空环境转向物质内部。

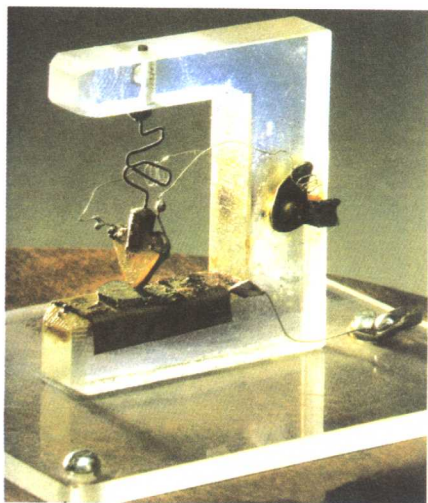
晶体管克服了真空三极管存在的问题，且具有真空三极管的一切主要功能，被人们戏称为“三条腿的魔术师”。晶体管问世之后，不可胜数的轻便小巧的电子设备应运而生，例如心脏起搏器、助听器和袖珍式半导体收音机等。与此同时，电子计算机迅速步入小型化历程。

然而，利用锗半导体材料制造的晶体管存在两个缺陷：一是在空气中锗容易氧化，二是随着温度升高，锗半导体材料的物理特性会发生变化，使晶体管漏电甚至无法工作。1954年，美国得克萨斯仪器公司的工程师改进制造高纯度单晶硅技术，发明了利用硅半导体材料制造的晶体管，解决了锗晶体管存在的问题。

硅在地球上的储量极为丰富，火山熔岩生成的石英和遍布江河湖海的沙，都是硅和氧构成的化合物，硅材料之源取之不尽；而且，制造硅晶体管的工艺并不复杂，在无氧的高温环境下，硅很容易从二氧化硅原料中还原出来，能够在熔融状态下制备成原子排列十分规则的晶体。将它们切成薄片磨光，使某些普通元素掺入其中（例如硼或磷），装上金属引线封装之后即为可以使用的晶体管。硅材料化学性质稳定，能够

在表面形成牢固的二氧化硅薄膜对晶体管提供很好的保护；用硅材料制成的晶体管，其特性不易受温度影响，工作十分可靠。几乎在所有应用领域，硅晶体管迅速取代了锗晶体管。

1958年，在得克萨斯仪器公司工作的年轻工程师基尔比（1923—2005）想出一个很好的主意，不仅在硅片上制造晶体管，还使硅片在可以控制的特定区域掺入其他的不同元素，改变其导电性做成电阻；再在硅片表面形成的氧化层特定区域



◀ 第一只晶体管



▲ 研究蜜蜂活动规律的集成电路

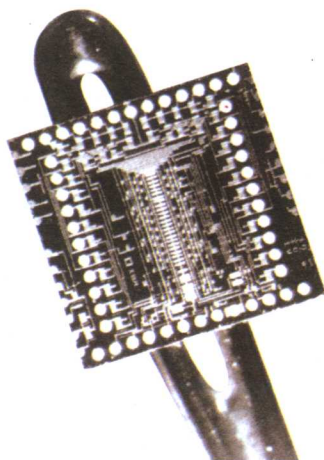
镀一层金属膜做成电容；然后按照电路设计要求将它们相互连接，成为一个微缩在硅片上的电路，人们称之为集成电路。肉眼无法看清这种集成微缩电路的结构，在显微镜下，它就像是一座道路纵横、建筑林立的城市。

集成电路的发明，是电子产品工艺技术的一次革命，进一步减小了电子设备的体积，由此，电子产品变得更轻、更小。由于不同的电子元件大部分可以在同

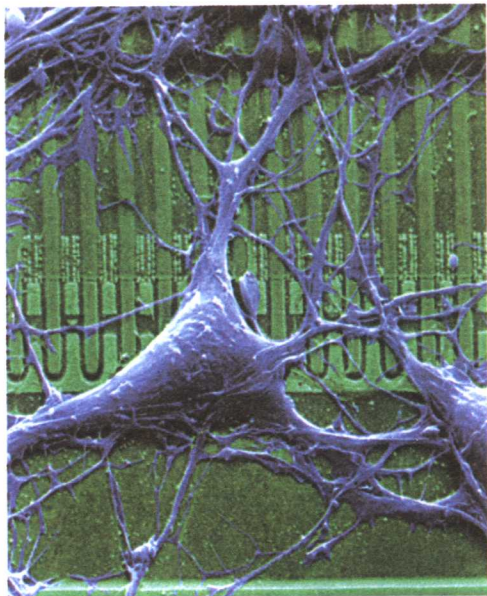
一块硅片上制造，相互紧密连接在一起，因而减少了元件失效和引线断裂的可能性，提高了电子设备的可靠性，也降低了电子产品制造成本。为充分体现集成电路的优越性，人们竞相改进工艺，努力在同样尺寸的硅片上制造越来越多的电子元件。20世纪60年代初期，人们只能制作一块包含几十个元件的小规模集成电路；20世纪70年代后期，人们已经能够在面积30平方毫米的一块硅片上集成13万个晶体管；20世纪90年代以来，超大规模集成电路技术迅速发展，人们已经能在一块指甲盖大小的硅片上制作包含500万个晶体管的集成电路，它的功能相当于250台1945年发明的电子计算机。而当年第一台计算机重30吨，需占用两间房屋。

集成电路的发明，大幅度降低了电子产品成本，加之它们的尺寸奇迹般地减小，导致了家用电子计算机和手机的出现，使从前专门机构才能购置的电子装置成为大众可以使用的工具。用集成电路制造的电子装置廉价、小巧、可靠、方便，令人们对电子技术刮目相看，电子技术迅速扩展到人类活动的众多领域，有效地提高了人类活动水平。

电子技术的进展，牵动了光学的飞跃。1960年，美国物理学家梅曼（1927 - 2007）在实验室里



► 放在缝衣针上的集成电路



▲接收神经细胞信号的集成电路（显微照片）

发明了一种奇特的光。这种光非常强，比太阳投射到地球上的光亮1000万倍，能聚成细束从地球投射到38万千米之外的月球，可以在月球表面产生明亮的光斑。

梅曼所用的办法，是通过气体放电管产生强烈辉光（当时他用的是螺旋形玻璃管中的一种惰性气体氙气放电）照射红宝石，使红宝石中的电子获得额外的能量跃迁到另外的轨道，处于暂时稳定状态。然而它们会突然集体恢复至原来状态发出强烈的光，这就如同人们把亿万个小铁球从地上拿起放在架子上，如果它们同时落地就会发出震天的响声。由于这种光需要激发才能产生，因此人们称之为激光。

光。

从前，光对人类的意义仅限于光合作用和照明，阳光造就了地球上的食物链，人们借助光获取外部世界信息。激光发明之后，光被赋予新的功能，它可以切割坚硬的材料，可熔化难熔的金属，可在一瞬间洞穿飞机；可帮助医生进行外科手术，譬如迅速切开皮肤，同时烧灼封闭切断的血管避免流血，譬如焊接脱落的视网膜，使患者重见光明；激光还可以在非常细的凹凸刻痕上反射，读取存储在光盘上的信息。一张薄饼大小的塑料光盘可以存储时间长达几个小时的电影和音乐，可以存储一部百科全书的内容。激光还可以发现超速的车辆，测量足球在空中飞行的速度等等。初步估算，激光至少有100种以上新的重要用途。

激光诞生10年之后，开始促进人类通信技术变革。1970年，两位物理学家发明了光纤通信技术，成功地使用比头发丝还细的玻璃纤维，长距离传输语音、图像和文字信息。

这两位发明者一位是华裔学者高锟，另一位是英国人霍汉克。他们采用的光纤，包括传输信息的内芯和防

电子技术的进展，牵动了光学的飞跃。1960年，美国物理学家梅曼发明了一种奇特的光，比太阳投射到地球上的光亮1000万倍，人们称之为激光。

止光线外逸的包层，光导纤维的内芯是用纯净石英玻璃拉成的细丝，其直径约数微米（1微米相当于万分之一厘米）；包层也是石英玻璃，外径大约0.1毫米，折射率比内芯略低。

复合而成的光纤可以自由弯曲。可以像电线那样拉来拉去。采用这种设计，光纤可以把携带信息的光信号约束在包层之内传输；捆扎在一起相互紧贴的光导纤维互不干扰，光各走

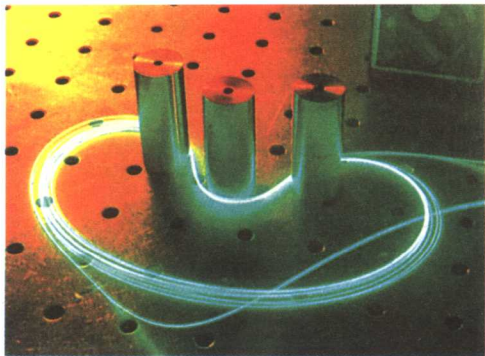
各的通路，就像相互绝缘的电缆线传输电信号一样；在光导纤维中传输的信号，不会受到无处不在的电磁波干扰。

在使用光纤通信的时候，人们首先将需要传输的信息转换成相应的光信号，差不多沿着光纤轴线方向入射的光线从端部进入光纤之后，在内芯与包层的分界处发生多次全反射，沿光纤限定的路径传向远方；其到达终端以后，人们将光信号转换成相应的电信号，重新取得原有信息。

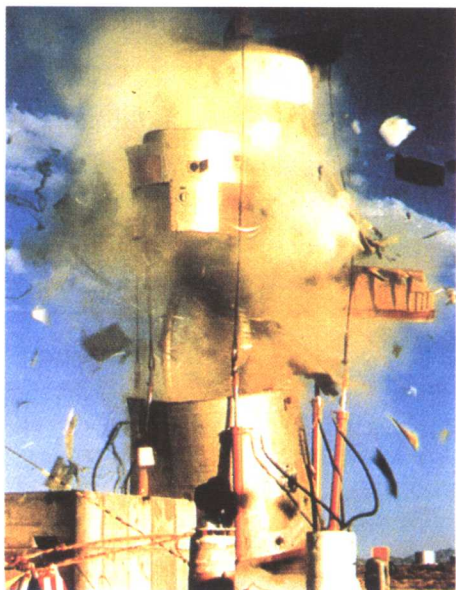
人们采用电磁波作传输信号的载体，其频率越高，能够承载的信息量越大。如果

把电磁波比做运载货物的船，把信息比做装载的货物，则电磁波的频率好比是船的容量，频率高多少倍，能够传输的信息量就大多少倍。可见光是一种特殊频段的电磁波，它的频率比人们通常使用的微波高数万倍以上，一根细细的光纤传输信息的能力，远远超过粗大笨重的电缆。

光导纤维诞生之际，正逢激光技术成熟之时，人们将两者结合，迅速使光纤通信技术实用化。光纤通信在1977年进入实用阶段。20世纪80年代，世界各地开通的光纤通信线路已



▲一束强激光在光导纤维中传输



◀激光摧毁一枚导弹

经超过1000条。1988年,第一条穿越大西洋连接美国东海岸和欧洲的光缆开通;1989年,穿越太平洋,连接美国西海岸和日本、菲律宾的光缆开通。今天,光纤通信已经成为全球通信系统重要的组成部分。



▲激光在阳澄湖大闸蟹壳上刻出的防伪标志

20世纪后半叶,由于电子计算机和光纤通信技术的进展,本来相互独立的信息传输体系和信息处理系统开始融为一体,酝酿人类信息交流方式的革命性变化。

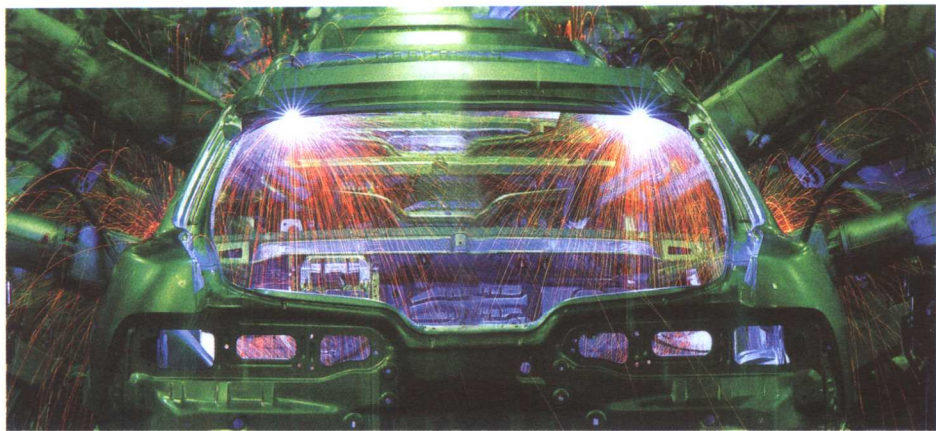
1968年,美国国防部提出建立计算机网络的设想,计划用若干小型计算机建立一个相互联结的网络。1972年美国建成了四个计算机网络系统,其中三个设在加州大学洛杉矶分校,一个设在内华达州。使用这些网络,人们可以互通电子邮件。1980年,全世界越来越多的计算机开始通过电话线互相联结,组成了一个巨大的机器网络,共享信息资源。此后,这个网络迅速扩大并于1993年开始对全球公众开放,它就是现在人们所说的国际互联网,又称做“因特网”。“因特”一词,是英文缩写词Internet的音译。如今因特网已经覆盖212个国家和地区,数以亿计的人在使用它。

因特网为人们提供了一个划时代的信息媒体,每天向人们提供包罗万象、瞬息万变的信息。人们可以在任何时间、任何地方,就任何内容在网上浏览所需信息或与别人交流。在因特网中,信息以光的速度流动,人们获取信息不再受制于交通工具,不必长途奔波、千里劳顿,因特网有效地提高了人类活动的效率。有人形象地比喻:19世纪是铁路的时代,20世纪是高速公路的时代,21世纪是因特网的时代。

因特网是建立在一系列电子技术基础之上的系统发明,对人类活动将产生深远影

因特网为人们提供了一个划时代的信息媒体,每天向人们提供包罗万象、瞬息万变的信息。如果说电视的发明缩短了人类与世界的距离,因特网的发明则缩短了人类与知识的距离,缩短了人类个体与群体之间的距离。

响。因为,只有实现有效的信息交流,人类才能构成社会,共享智慧、协调有效地进行各种活动。如果说电视的发明缩短了人类与世界的距离,因特网的发明则缩短了人类与知识的距离,缩短了人类个体与群体之间的距离。许多学者把因特网的出现看作人类进入信息时代的



▲在无人操作的车间里，机器人正在焊接装配汽车。

标志。

激光出现之后不久，人们发明了用计算机控制激光的技术。在计算机控制下，激光束像一支灵巧的笔，能够书写文字、符号，描绘图形、影像，可以使照相胶片感光，也可以在纸上留下清晰的字迹和画面。这项发明导致激光排版印刷技术的出现，人们开始以全新的方式印刷书籍、报刊，铅字逐渐退出历史舞台。

20世纪80年代，中国科学家王选（1937—2006）采用数学方法表述形态各异的汉字，发明了汉字激光照相排版系统，使汉字印刷告别了铅与火的历史。王选还是一位哲人，在领导其研究群体时，他说：“我喜欢这样的观念：当一个人开创的事业，自己在其中显得越来越不重要的时候，它就真正地发展起来了。”

随着电子技术的进展，人类开始以新的方式获取自然界的信息。自20世纪初以来，人们相继发明了许多方法，使一些不能直接通过人类感官识别的自然现象特征，转换成相应的电信号，通过电子学装置显示和分析它们，许多从前无法感知的自然信息，开始清晰地呈现在人们面前。这些使自然信息转换成电信号的器件与装置称为“传感器”。它们是人类为自己发明的窥探自然奥秘的第三只“眼睛”。

人类感觉器官是生命演化历程的产物，它们的功能与现今生活在地球上的许多哺乳动物差别不大，有些方面还不如其他哺乳动物。人类看不见红外线，听不见超声波，嗅不出致命的一氧化碳，分辨不出微小的压力和温度变化，对无线电波毫无反应……人类带着史前时期已经定型的感觉器官走进现代社会，常常会遭遇感官的困境。传感

在短短的100年间，电子学领域中的发明几乎影响到人类活动的一切方面。如果全世界的电子在一瞬间突然不辞而别，今天的人类真不知如何是好。

器和电子技术使人类能够超越感觉器官的生理局限，获取从前不敢奢望的信息。借助气体传感器，井下作业的矿工可以及早发现突然出现的瓦斯，避免爆炸危险；在伸手不见五指的黑夜里，通过红外传感器，人们能看清野生动物的行踪；在超声波传感器的帮助下，医生能看见胎儿在母腹中活动的情景。

传感器和电子技术使人类能够超越感觉器官的生理局限，获取从前不敢奢望的信息。它们是人类为自己发明的窥探自然奥秘的第三只“眼睛”。

传感器在许多领域开辟了人类探究自然的新途径，极大地推进了自然科学基础研究的进展。1911年，奥地利物理学家赫斯（1883—1964）用传感器捕捉到来自其他星球的带电粒子，这些“天外来客”后来被称为“宇宙射线”。1953年，美国物理学家克莱因（1918—1998）用传感器发现了一种可以自由穿透地球和一切物体的不带电的粒子，它比电子更轻，一直神秘地藏在原子深处，人们称它为“中微子”。中微子本来是奥地利物理学家泡利（1900—1958）在1930年提出的一种猜想，人们居然用传感器找到了它。1964年，美国物理学家彭齐亚斯（1933—）和威尔孙（1936—）用传感器发现了100多亿年前太空深处发出的微弱电磁波，有力地支持了宇宙学的新观念——宇宙大爆炸理论。

出于不同的目的，人们相继发明了电子学通信系统、电子计算机和多种多样的传

▼这辆无人驾驶的汽车，正以每小时90千米的速度穿过美国匹兹堡的一座隧道，它的设计者空出双手悠闲地在笔记本电脑上做自己的事。汽车以电视摄像机作眼睛，由传感器和计算机构成的自动化系统操纵





▲由传感器和计算机构成的机器人正在同他的设计者打乒乓球

感器。它们的功能与人体神经系统、大脑和感觉器官十分相似，如果使它们巧妙地结合起来，有可能制造出不需要人操作而自行工作的机器。

20世纪中期以后，这种新颖的构想相继在许多领域获得成功。人们发现，由传感器、通信系统和电子计算机构成的控制系统，在许多情况下工作得比人更好。因为传感器探测自然信息比人的感觉器官更灵敏，而且能够探测人类无法感知的许多重要信息；电子通信系统传输信息比人的神经传递信息更快，还可以通过电磁波在没有物质的空间以光的速度传送信息；电子计算机处理信息的速度亦比人脑快，其储存的信息更多，不知疲倦且不容易出差错。

在简单工具演变为复杂机器的历程中，人类一直扮演着操作者的重要角色。可是，当机器力量越来越大，运行速度越来越快，加工对象越来越复杂的时候，人们感到越来越力不从心。因为人跟不上机器的节奏，不能发现生产过程瞬间出现的细微变化。这种问题早在蒸汽机问世的时候已经出现，当年瓦特为了使他的蒸汽机工作稳定，发明了会自行调节蒸汽流量，使飞轮转速均匀的离心调速器。实际上，要想通过机械的办法解决这类普遍存在的问题是十分困难的，离心调速器只是一个罕见的成功特例。电子学的进展开辟了一条解决这类棘手问题的新途径，使许多难题迎刃而解，这种新的控制技术称

为“自动化技术”。

运用这种技术，人们制造出可在深海中检修电缆的机器，它们不怕海底巨大的压力、不怕鲨鱼、不怕缺氧；人们还制造出可在滚滚烈焰中奋力救火的自动机器，它们不怕火烧、不会窒息；人们还制造出自动装配汽车的机器，它们会自动把各种零件安装在合适的位置，拧紧螺钉，把分离的部件牢固地焊接在一起，而且为它们喷上美丽的漆。人们亲昵地称这些会自动工作且一丝不苟、从不偷懒的机器为“机器人”，其实，它们的样子一点也不像人。

自动化技术的发明，使人类能够超越感官和神经系统的生理极限，在更高的水平上从事改变物质世界的活动。

与此同时，“无人工厂”大量出现，在这种工厂里，几乎看不到工作人员，机器完全按照人们预先编制的程序自动运行，并且有能力采取对策应对意外的意外情况。这种自动化和智能化的机器，显著提高了工业生产技术水平，减少了对劳动力的需求，使更多的劳动者可以转移到新的领域开拓新的事业。

蒸汽机的发明，使人类从沉重的体力劳动中解放出来，自动化技术的发明，使人类能够超越感官和神经系统的生理极限，在更高的水平上从事改变物质世界的活动。

在短短的100年间，电子学领域的发明几乎影响到人类活动的一切方面。如果地球上的电子在一瞬间突然不辞而别，今天的人类真不知如何是好。■

十一 释放核能

20世纪40年代，人们开始向原子核索取能量。这项发明有可能让人类在未来获得永不枯竭的能源，与此同时，世界亦蒙上了核战争的阴影。

能量是物质运动变化的动力，人类生存发展的重要基础。古往今来，人类和其他生灵利用的一切能源几乎都来自太阳，太阳的光和热使地球充满生机。在太阳的照耀下，绿色植物的光合作用造就了地球上的食物链，为一切生命提供了必需的保障。由于太阳的热辐射，地球上的水和大气时刻不停地运动，造就了奔腾的江河、呼啸的海洋，以及无处不在的风，它们成为人类最早利用的自然力。太阳还造就了深藏地下的煤和石油，17世纪以后，它们开始成为机器的能源，为产业革命提供最重要的物质保障，直到今天，它们仍然维系着人类的繁荣。

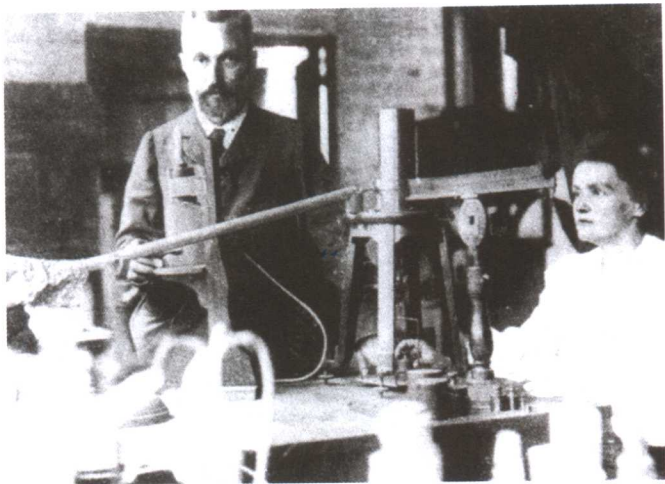
无论是植物的光合作用、人和动物的消化过程，或是木柴、煤和石油的燃烧，这些都是化学反应，相关的能量转换都发生在原子的外层电子中，而原子核并未参与这

在一次偶然的事件中，科学家注意到，有些物质在没有发生化学反应的条件下，仍不断地向外部世界释放能量。这一发现激发了人类探究原子内部奥秘的热情。

种提供能量的过程。在一次偶然的事件中，科学家注意到，有些物质在没有发生化学反应的条件下，仍不断地向外部世界释放能量。这一发现激发了人类探究原子内部奥秘的热情。

1896年初，德国物理学家伦琴发现X射线

的消息传到巴黎，数学家庞伽莱（1854—1912）在1896年1月20日法国科学院举行的例会上介绍了伦琴的发现，并展示了一张X射线的照片。他建议当时参加会议的另一位科学家贝克勒尔（1852—1908）研究X射线是从哪里发出的。



▲ 皮埃尔·居里和玛丽·居里在实验室。在这个简陋的房间里，仅有一些普通的化学实验设备和他们自己发明的测量仪器

贝克勒尔家族已
有三代人研究荧光，

熟知很多种矿物经阳光照射后，会在一定的时间内发出一种微弱的光，就像黑暗中萤火虫发出的光，人们称之为荧光。贝克勒尔猜测X射线可能是从荧光里发出来的。他将照相底片用厚厚的黑纸包住，与一些能产生荧光的含铀化合物一起放在阳光下曝晒。黑纸可以完全阻挡阳光，如果太阳光激发的荧光里有X射线，它就会透过黑纸使底片感光。为了防止铀化合物同底片接触发生化学反应，并且避免样品发热对底片产生影响，他还在底片和铀化合物之间放置了一块玻璃板。经过一段时间的阳光照射，显影后的底片果然出现了感光的黑斑，这似乎证实了贝克勒尔原先的想法，他决定用新的底片继续观察。

天公不作美，接连几个阴天，贝克勒尔只好把含铀的化合物连同黑纸包着的底片一起放进抽屉，待太阳出来再做试验。几天之后天空放晴，贝克勒尔准备继续将其置于阳光下试验。他是一位非常严谨的科学家，出于职业习惯，他在每次试验之前总要重新检查底片是否符合要求，有无在存放的过程中由于疏忽而漏光。然而令他惊讶的是，这些包得严严实实的底片，显影后仍然出现了浓重的黑斑。对于用来进行试验的荧光物质，他非常熟悉：它们在阳光照射之后发出的荧光只能维持100秒钟左右，与底片接近的时候，铀的化合物发出的荧光早已消失，底片上的黑斑表明这种含铀的化合物发出了另外一种射线，它与荧光无关。经过反复试验，贝克勒尔发现所有含铀的物质无论固体、液体都会发出射线，他称之为“铀射线”，后来人们又称其为“贝克勒尔射线”。当年5



▲为核科学奠基的物理学家们在1911年的合影，当时他们正在布鲁塞尔参加理论物理研讨会，居里夫人、卢瑟福和量子理论的创始人普朗克参加了会议，年轻的爱因斯坦站在后排（右2）

月18日，贝克勒尔在写给法国科学院的报告中说，这是铀原子自身发出来的一种射线。

居里夫妇对贝克勒尔发表的论文极感兴趣，来自波兰的玛丽亚·居里（居里夫人，1867—1934）在其丈夫皮埃尔·居里（1859—1906）的建议下，于1897年选择“铀射线”这一课题作为博士论文。

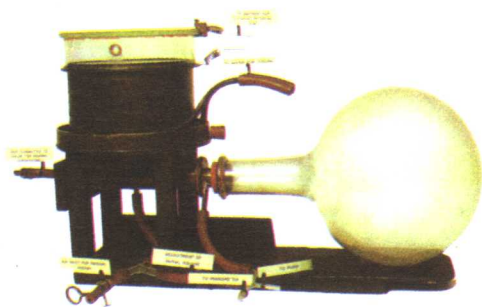
贝克勒尔使用照相底片可以判断射线是否存在，但只能大体了解射线强弱而无法定量地研究。居里夫妇采用皮埃尔·居里和兄长雅克斯·居里（1855—1941）在1880年发明的压电石英静电计测量射线产生的电流，则能精细地区分射线强度的微小差别。

定量研究常常导致新的科学发现。

居里夫妇利用沥青铀矿作为研究对象。这是一种成分极为复杂的含铀矿物，通过化学方法可以把其中多种不同的成分分离出来。在研究沥青铀矿的时候，他们发现化学元素钋也能够发出射线。1898年7月，他们从沥青铀矿中分离出一种人们尚不知晓的元素，这种元素发出的射线比相同质量的铀强几百倍。居里夫人建议以她的祖国波兰命名这种元素，人们采纳了她的建议，将其命名为钋（Polonium）。在拉丁语中，钋是波兰的谐音。6个月之后，他们又在沥青铀矿中发现另一种射线强度更高的元素。经过四年奋斗，他们从8吨沥青铀矿中提炼出0.1克不含其他杂质的这种元素的纯净化合物，它们的射线强度比铀高几十万倍。

定量研究常常导致新的科学发现。

由于发现许多种不同的元素都可发出射线，居里夫妇提出了“放射性物质”的概念，并且建议把新发现的这种具有极强放射性的元素称为“镭”（Radium），在拉丁语



▲ 20世纪初科学家探测粒子的装置——云室

中“镭”的含义是“放射物”。1900年，他们在巴黎举行的国际物理学会议上做报告，题目为《新的放射性物质和它们发出的射线》，叙述了测量放射性物质的方法、新的放射性元素的化学性质，以及它们发出的射线具有何特点。在报告中，他们还谈到尚不清楚的两个问题：射线的能量从哪里来？射线到底是什么？

在发现钋和镭的过程中，居里夫妇付出了生命的代价。1906年，皮埃尔·居里在去实验室的路上不幸被马车撞死。居里夫人坚忍执著地继续从事放射性研究。当时人们不清楚放射性物质对人体的影响。这些放射性物质严重地损害了居里夫人的健康，她在67岁时因血癌去世。多年以后，居里夫人的女婿约里奥·居里(1900—1958)曾用探测仪器检查居里夫人当年的实验记录本和她在厨房使用过的菜谱，结果发现虽已经过去50年的时间，但这些物件仍然带有很强的放射性。

居里夫妇提出的问题很快有了答案，几年之后，人们弄清了放射性现象的本质。早在贝克勒尔发现“铀射线”的第二年，新西兰物理学家卢瑟福(1871—1937)便开始研究这种射线和X射线的区别。他用许多层铝箔把具有放射性的含铀化合物包起，然后逐层拆开测量放射性强度的变化，结果发现有两种射线，一种穿透性弱，另一种穿透性比较强；它们都能在磁场中偏转，一种向左转，另一种向右转；穿透性弱的一种带正电，另一种带负电，他分别称之为 α 射线和 β 射线。1900年，法国物理学家维纳尔德(1860—1934)发现了放射性物质发出的穿透力极强而不带电的射线，卢瑟福称之为 γ 射线。 α 、 β 和 γ ，是希腊字母表中的头三个符号。卢瑟福认为从原子中发出的射线只有这三种，其中 α 射线是电离后带正电的氦离子， β 射线是高速运动的电子， γ 射线是比伦琴发现的X射线穿透性更强的不带电的射线。

后来，卢瑟福发现原子释放的射线随时间推移越来越弱，呈现出一种有趣的规律：每过一定的时间，强度会衰变为原来的一半。例如，经过一天其衰变为原有强度的 $1/2$ ，经过两天变为 $1/4$ ，经过三天变为 $1/8$ ……而

居里夫人的女婿约里奥·居里，曾用探测仪器检查居里夫人当年的实验记录本和她在厨房使用过的菜谱，结果发现虽已经过去50年的时间，但这些物件仍然带有很强的放射性。

且，原子在发出射线的时候，放射性物质不断地变成另一种新的元素。

从1909年开始，卢瑟福开始用放射性物质发射的 α 射线轰击金属箔，最初用金箔，后来用铝箔。他发现绝大多数 α 粒子沿直线穿箔而去，少量与金属箔相遇之后改变方向，还有极少量反弹回来。1911年，他提出一种解释这种现象的理论：“原子并非人们想象的那样是镶嵌电子的实心球。它有一个小小的内核，核带正电，原子的全部质量差不多都集中在核内，电子则在外面围绕核旋转，就像是一个缩微的太阳系，众多行星围绕太阳旋转。在核与电子轨道之间空空荡荡，一无所有。”基于这种假设，卢瑟福从理论上计算出 α 粒子反弹后在不同角度上的分布，与实验结果完全符合。从此，人们对原子的结构才有了正确的理解，产生了“原子核”的概念。测量表明，氢原子核的质量大约是电子质量的1840倍。如果把原子放大到地球那么大，原子核的大小就当于一个苹果。

随后，人们开始用 α 射线轰击多种元素，看它们究竟能变成什么物质。1919年，卢瑟福发现， α 粒子轰击氮原子的时候，产生了氧原子，同时释放一个氢离子。他认为氢离子是原子核中最小的带正电的粒子，他称其为质子，而且断言原子核是由质子构成的。1921年，他又发现在 α 粒子轰击下，硼、氟、钠、铝和磷都可以变成另外的元素。

1928年，德国物理学家博特（1891—1957）用 α 粒子轰击铍，产生了一种穿透性很强的射线，它的能量比 γ 射线大得多，甚至比入射的 α 射线能量还要大，被称为“博特 γ 射线”。1932年1月18日，居里夫人的女儿伊雷娜·居里（1897—1956）和女婿约里奥·居里用实验室里很强的钋放射源产生的 α 粒子轰击铍，产生“博特 γ 射线”，再用这种射线轰击石蜡，产生了氢离子。他们感到非常奇怪，没有质量的 γ 射线居然会打出比电子重1840倍的质子！在无法解释的情况下，他们发表了自己的报告。

英国物理学家查德威克（1891—1974）重复了居里夫



▲ 在云室中观察到一次核反应中产生的一对正电子和负电子，它们分别画出两个对称的螺旋线，图像是由粒子通过的路径上凝结的雾滴形成的

测量表明，氢原子核的质量大约是电子质量的1840倍。如果把原子放大到地球那么大，原子核的大小就相当于一个苹果。

人的女儿、女婿的这项实验，并进行了更多的研究。他发现用“博特 γ 射线”照射氢的时候可以打出质子，而且这种射线会反弹回来；他发现所谓“博特 γ 射线”并不是真正的 γ 射线，而是一种不带电的粒子流，这种粒子的质量与质子差不多，他称其为中子。1932年2月17日，查德威克写信给英国《自然》杂志，发表了这一研究结果。从此，人们对原子核的了解又前进了一步，知道它是由质子和中子共同组成的。中子不带电，不像 α 粒子那样会受到原子核正电荷的排斥，自由飞行的中子很容易进入原子核内部引起核反应，从而改变原子核的结构。发现中子，使人们找到了开启核能之门的钥匙。

发现中子，使人们找到了开启核能之门的钥匙。

用 α 射线轰击铍，可以轻而易举得到中子。从1934年开始，意大利物理学家费米（1901—1954）用中子轰击氢、锂、硼、氮和氧的原子，希望它们能够变成另外的元素，产生新的放射性物质，然而没有得到预期的结果。1934年秋天，他在无意中发现，在中子源和被轰击的样品之间放上石蜡，中子经过石蜡之后，轰击样品发生的核反应大大增加。既长于实验又精通理论的费米对此迅速作出解释：石蜡减缓了中子运动的速度，慢中子更容易引起核反应。实验证实了费米的看法，短短几个月，费米的研究小组按照元素周期表的顺序，从氢开始，依次用减速后的慢中子轰击63种不同的元素，产生了37种新的放射性同位素。当时，费米最感兴趣的是用中子轰击铀，铀在元素周期表中排序为92，是自然界中排序最高的元素，他希望能产生从来没有发现过的93号元素。

制造93号元素的努力差不多持续了四年仍无结果。1938年，参加这项工作的德国物

理学家哈恩（1897—1968）和斯特拉斯曼（1902—1980）分析了中子轰击铀的产物，发现它不是原子序数92附近的元素，而是原子序数为56的钡元素。哈恩把这一结果写信告诉因躲避纳粹德国迫害逃亡的奥地利女物理学家迈特纳（1878—1968），她同是物理学家的侄子弗里什（1904—1979）认真讨论这封



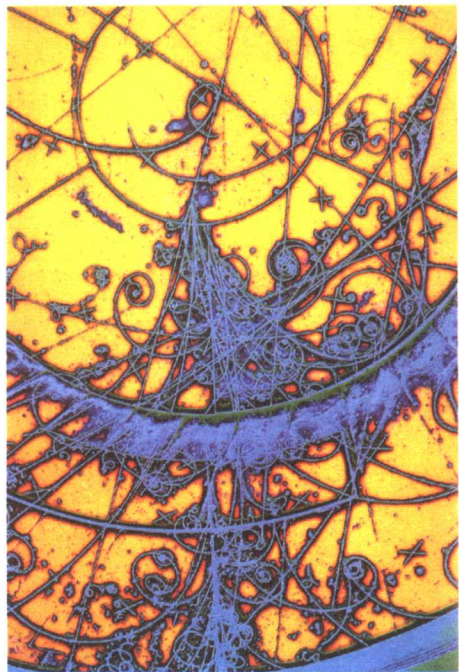
◀ 哈恩和他的合作者奥地利科学家迈特纳（左）

信后恍然大悟：在中子轰击下，铀原子核已经分裂成两个碎片，碎片的质量大约是铀原子核的一半。她把这种现象称为“原子核裂变”。后来，中国物理学家钱三强（1913—1992）、何泽慧（1914—）夫妇，在法国居里实验室发现了铀235在慢中子轰击下可以分裂成三个或四个碎片，称为“三分裂”或“四分裂”。

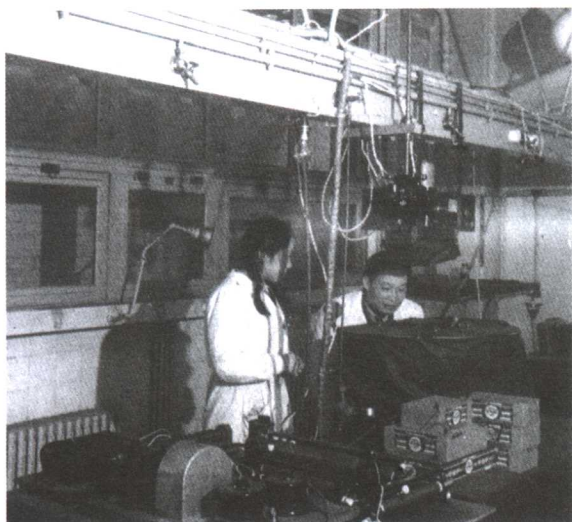
发现核裂变具有重大意义。在实验中人们注意到，铀原子核分裂时产生的所有碎片，其质量加在一起比铀原子核原来的质量小，有一部分质量神秘地失踪了。1905年9月，爱因斯坦（1879—1955）在关于“相对论”的第二篇论文中，曾经提出一个重要的论断：质量与能量可以相互转化，消失的质量可以转化为物体的动能或电磁波；并且推导出它们之间相互转化的公式，能量等于消失的质量乘以光速的平方。精确测量核反应前、后质量的变化，再经过简单的计算，人们大为惊讶：一个铀原子核裂变时释放的能量，比一个碳原子氧化（例如煤燃烧）时产生的能量大5000万倍！1939年1月，弗里什拆除了实验中包裹铀样品的金属箔，通过真空三极管做成的电子学装置，观测到铀在核裂变时发出的强电磁波信号，证实铀核裂变确实释放能量。

几个铀原子核裂变释放的能量可能没有什么价值，然而如果这种反应能够连续进行下去，有大量的铀核参与反应，就有可能产生难以估计的巨大能量。科学家注意到重原子核

（例如铀）里中子数目总是比质子多，比较轻的原子核（例如钡）里中子数和质子数大体相等。当铀核裂变成为碎片时，必定会有多余的中子释放出来，这些中子又可能引起下一级裂变反应。如果一个中子轰击铀核能够产生两个以上中子，裂变反应一旦发生，就会数量翻番一级一级传递下去，这种反应可能像雪崩一样会在极短的时间内发展成为很大的规模。约里奥·居里、费米和匈牙利物理学家西拉德（1898—1964），分别在各自的实验室里观察到了这种连续发生的铀核裂变过程，每个铀235原子核裂



◀ 气泡室记录高能粒子核反应产生新的粒子的径迹，这些图像由在粒子路径上瞬间形成的气泡构成，根据它们，可以直观地看到核反应发生的情况



▲中国核物理学家钱三强、何泽慧夫妇在居里实验室

变时可以释放2~3个中子，这种核反应传递到下一级的时间非常短，大约1亿分之1秒。人们把这种连续发生的核反应称为链式反应。

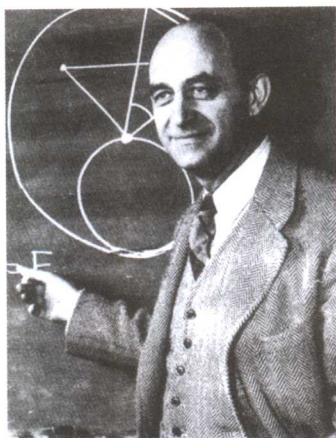
通过计算，科学家知道1千克铀235发生链式反应释放的能量，相当于2万吨TNT炸药爆炸产生的能量。如果用它做成炸弹，威力将比同等重量的普通炸药大数千万倍，成为前所未有的毁灭性杀伤武器。

核裂变的发现正值第二次世界大战爆发前夕，特别是纳粹德国已经开始加紧进行链式反应的研究，使许多科学家预感制造核武器的危险。1939年7月，流亡到美国的匈牙利物理学家西拉德和维格纳（1902-1995）秘密找到爱因斯坦，希望借助他的名望给美国总统罗斯福（1882-1945）写信，促使美国先于纳粹德国造出核武器。1939年8月2日，爱因斯坦签发了给美国总统罗斯福的信。1941年12月6日，美国政府做出制造核武器的决定。1942年9月，美国成立由三名官员和两名科学家组成的委员会，主持制造核武器的庞大工程，代号“曼哈顿工程”。投入该项计划的有2000多名文职人员、3000多名军事人员，其中有1000多名科学家，包括大批受到纳粹德国迫害逃往美国的欧洲著名物理学家、数学家和工程技术专家。

实现核爆炸，需要有一定数量的可以发生核裂变的材料。然而在天然铀中，铀235只占0.7%，其余99.3%都是同位素铀238，它吸收中子却不发生裂变。1940年，美国物理学家麦克米伦（1907-1991），发现铀238在俘获一个中子后，会变成另一种新的元素镎239。同年，美国核化学家西伯格（1912-1999），发现镎原子核会释放电子，而且它们中的大部分在几天之后就变成了可以发生裂变反应的钚239。于是，制造核弹便有了两种材料来源，一种途径是从天然铀中提纯铀235，另一种途径是把铀238变成钚239。

为了研究链式反应实现的条件，尝试利用天然铀中的铀238制造钚，1942年10月，由

费米领导的一个科研小组，在美国芝加哥大学建立了一座6米高的核反应装置，它由石墨层和铀层相间堆砌而成，人们称它为核反应堆。反应堆中的石墨用于铀原子核裂变时减慢中子的速度，以使它们有效地引发下一级核反应。反应堆中还插有许多镉棒，用来吸收中子，以便控制核反应的强度。当镉棒抽出时，核反应便即刻开始。1942年12月2日，这座反应堆开始运行，当时运行功率只有1/2瓦，10天后上升到200瓦。这是自古以来人类首次实现原子核自行发生持续的链式反应，开创了可控核能释放的历史。



▲ 费米在陈述自己的见解，他既精通实验又精通理论，是科学史上不多见的杰出人物

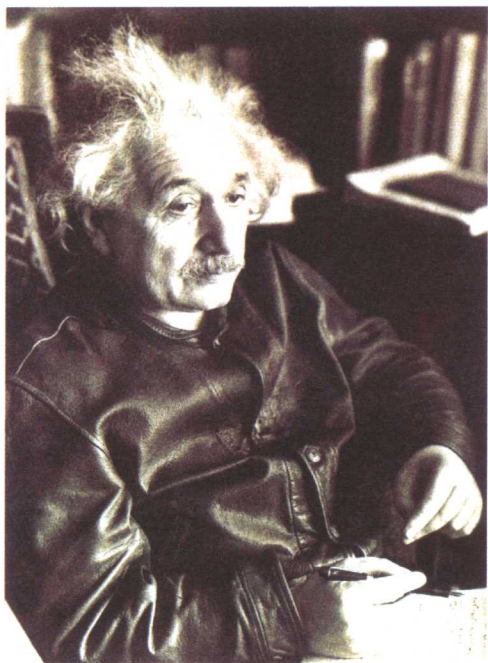
1945年7月，美国制造出三颗原子弹，其中一颗是铀弹，两颗是钚弹。制造铀弹所需要的铀235裂变物质，是用强大的磁场从天然铀原料中一个原子一个原子挑拣出来的；钚239是用原子反应堆产生中子照射不能裂变的铀238，慢慢制造出来的。美国在田纳西州橡树岭建造生产核裂变材料的工厂，当时制造这些材料的用电量曾达到全美国当时用电量的1/3。为了获得分离铀235所需要的磁场，美国政府曾经向国库借几吨白银，制造产生磁场的线圈。按照1940年的购买力计算，曼哈顿工程共耗资30亿美元。

同年7月16日凌晨5点30分，美国在其新墨西哥州沙漠进行第一次核爆炸试验——引爆了一颗钚弹。爆炸之前，这颗原子弹安放在竖立的钢架上，人们穿着厚厚的防护服，戴着深黑的护目眼镜，躲在16千米之外的掩体里观看。原子弹的主要设计者费米，在掩体里以焦虑的目光注视即将爆炸的核弹喃喃地说：“它爆炸的时候会不会引燃地球的大气呢？”

爆炸发生的时候，天空中出现了异常明亮的闪光，在300千米之外可以看到；爆炸的声音在160千米之外可以听到。人们看见一个火球翻腾升起，直到3千米高空才熄灭，随后一道蘑菇云升起，高达12千米。安放原子弹的钢架全部气化消失；爆炸中心处被炸出一个直径400米的大坑；直径800米范围内，砂石熔化成黄绿色玻璃状物体。在距离爆

科学家揭示了原子核的奥秘、发现了利用核能的方法之后，他们已无法控制这些科学成果的使用。

炸中心800米的地方，原先嵌在坚实的混凝土基座中的一个70米高、40吨重的钢塔，爆炸时被冲击波推倒，扭曲、撕裂；在爆炸中心半径1600米范围内，所有动植物全部死亡。当天空出现明亮闪光的时候，掩体中有几个人由于过



▲ 忧郁的爱因斯坦

经去世。)

1945年8月6日,美国空军的飞机向日本广岛投下了第一枚原子弹,摧毁了城市70%的建筑,炸死118,661人。这是一枚铀弹,威力相当于1.3万吨TNT炸药。当时,一批从事核科学研究的德国物理学家,包括最早发现核裂变的哈恩等人已被盟军抓获,关押在英国剑桥附近的一个小镇监狱。英国人一直在监听他们的谈话,据解密的监听记录披露,这一天的白天,无线电广播电台报道了广岛的核爆炸,关押在监狱中的这些科学家都不相信是原子弹爆炸,认为美国人不可能制造出来。晚间,广播电台报道了关于这次爆炸的更多细节,他们不再怀疑是核武器,但猜测“大概美国人扔下了一个失控的原子反应堆”。

8月8日,日本核物理学家西名奉日本天皇之命到爆炸现场考察,发现距爆炸中心200米范围之内,所有的瓦片的表面都被烧熔了0.1毫米。后来在广岛原子弹死难者纪念馆中,有一段由几块岩石砌成的台阶的一部分,其

度兴奋忘记戴护目镜,以致3秒钟之后永久地失明了。4小时之后,监测爆炸威力的仪器数据计算的结果是,它相当于2万吨TNT炸药。

当初,爱因斯坦和西拉德建议美国研制原子弹,为的是避免纳粹德国抢先研制出原子弹为人类带来灾难。1945年5月8日,纳粹德国宣告无条件投降后,西拉德于同年7月联合60多位科学家将请愿书紧急送交白宫,希望美国不要使用原子弹。请愿书中写道:“一旦它们(原子弹)作为战争工具被使用,那么想要长期阻止原子弹的引诱就很困难了。”这种努力无济于事,美国总统杜鲁门(1884—1972)下令向日本投掷试验剩余的两颗原子弹。(当时美国总统罗斯福已经去世。)

爱因斯坦终生后悔他签署了给罗斯福的信。第二次世界大战之后,他奔走呼号,呼吁禁止制造和使用核武器。一名记者曾问他:“你认为第三次世界大战将会怎么打?”他回答:“我不知道。但我知道第四次世界大战怎样打——用石头和木棒”。

中一块石条上有屁股大小的一个影子。这是距爆炸中心280米处的一家银行正门台阶，当时有一个男子正坐在这里等他的朋友。

从20世纪60年代开始，核弹装上了火箭，速度与破坏力开始联姻。

继第一颗原子弹在广岛爆炸之后三天亦即8月9日，美国空军的飞机向日本长崎扔下另一颗原子弹，这是一颗钚弹，也是当时美国人手中的最后一颗原子弹，其威力相当于2万吨TNT炸药，它摧毁了长崎60%的建筑，死亡7.4万人，重伤7.5万人。

1945年8月15日，日本宣布无条件投降。第二次世界大战宣告结束。

当初，核武器以维护和平的姿态出现在人类活动的舞台，旋即成为野心家争夺世界霸权的手段，美国和苏联之间开始了疯狂的核军备竞赛。

就在美国于极其保密的情况下研制原子弹的时候，苏联也开始了原子弹的研制。1949年8月29日，苏联爆炸了第一颗原子弹。美国感到自身失去了核武器的优势，便决定立即开始研制另一种更具毁灭性的武器——氢弹。

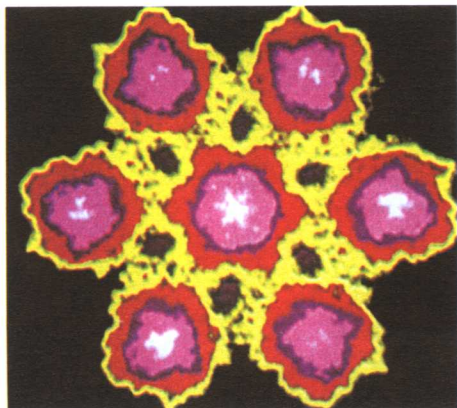
制造氢弹的原理，是让氢原子核在高温下“聚合”成重核释放能量，从而产生巨大的破坏力。同样质量的核聚变物质，其产生的能量比核裂变大4倍。

制造氢弹的构想，源于人们对太阳的研究。早在20世纪20年代，科学家已经认识到太阳产生强大的光和热，是由于构成太阳的物质发生核聚变而不停地释放能量。这种在高温下进行的聚合反应称为“热核反应”，早在太阳形成时已经出现。1937年，出生在法国的美国物理学家贝特（1906-2005）提出，太阳中进行的热核反应是氢聚合成氦，氢变成氦的时候质量会减少，这部分减少的质量转化为能量。

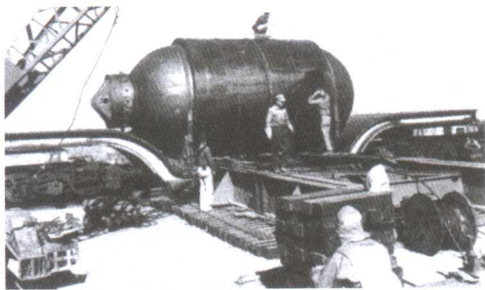
1942年，流亡到美国的匈牙利物理学家泰勒（1886-1975）曾提出利用原子弹爆

炸产生的高温，使氢的同位素氘和氚发生热核反应制造氢弹。氘和氚的化学性质与氢相同，但其原子核结构不一样。氢原子核中只有1个质子，而氘原子核中有1个质子和1个中子，氚原子核中有1个质子和2个中子。当发生热核反应时，氘和氚聚合成氦释放能量。泰勒打算用人造的太阳制造毁灭性武器。

在苏联第一颗原子弹爆炸4个月之



◀ 用扫描电子显微镜看到的7个铀原子团的图像



▲ 世界上第一颗原子弹运往试验现场

后，美国总统杜鲁门签发了制造氢弹的命令。1952年，由泰勒领导的科研小组制成第一颗氢弹，他们采用液态氘作热核燃料，里面有一枚原子弹，还有一枚使原子弹起爆的普通炸药。由于液态氘需要负200摄氏度以下的低温，因而连同制冷设备，这枚氢弹共重65吨。当年11月1日清晨，在太平洋

马绍尔群岛附近的一个小岛，美国进行氢弹爆炸试验，结果在海底炸出一个直径约2000米、深50米的大坑；爆炸时火球圆顶直径大约6.5千米；而当蘑菇云升起的时候，人们从远处的飞机上看到这个小岛已经消失。这枚氢弹的爆炸力相当于1300万吨TNT炸药，大约相当于1945年投在广岛的原子弹威力的1000倍。

1953年8月12日，苏联在北极圈内的一个岛上爆炸其研制的第一枚氢弹。这枚氢弹与美国刚刚爆炸的氢弹不同，它不用液体氘作燃料，而是采用氘和锂的固体化合物。当原子弹起爆时，裂变产生的大量中子使锂核变成氦和氘；在极高的温度下，氘和氦发生热核反应，放出大量中子；这些快速中子又使外层的铀238裂变产生更大的能量。这种氢弹连续发生三次核反应，裂变-聚变-裂变，其产生的破坏力巨大，并且造成严重的裂变产物——放射性污染。由于不再采用液氘，无需制冷，大大地减轻了重量，因而这种“干式”氢弹可由飞机装载投放。这枚氢弹的总设计师是年仅32岁的青年物理学家萨哈罗夫（1921-1990）。至此，美国氢弹领先的优势仅维持了9个月。

1954年3月1日，美国在太平洋的比基尼岛试爆了威力相当于1000万吨TNT炸药的“干式”氢弹。

1955年7月15日，52位诺贝尔奖获得者在欧洲聚会发表《宣言》，表达对人类深深的忧虑。因这次会议地点在迈瑙，这份《宣告》又称为《迈瑙宣言》。

《宣言》写道：“我们愉快地贡献一生为科学服务。我们相信，科学是通向人类幸福生活之路。但是，我们怀着惊恐的心情看到，也正是这个科学在向人类提供自杀的手段。军事上利用现有的武器可导致放射性物质的扩散，这种扩散将成为整个民族死亡的原因。这种死亡不仅威胁交战国家的人民，同样威胁中立国家的人民。如果大国之间爆发战争，谁能担保战争不会转变为殊死的搏斗。冒昧发动总体战争的国家将加速本身的灭亡，并将给整个世界造成威胁。”

若按全世界有60亿人口计算，平均分摊到每个人的核爆炸力，相当于2吨以上TNT。

《宣言》签名者包括核裂变研究的奠基人博特、哈恩、伊伦娜·居里、约里奥·居里和英国哲学家罗素（1872-1970）。其时，爱因斯坦和费米已经去世。

科学家揭示了原子核的奥秘、发现了利用核能的方法之后，他们已无法控制这些科学成果的使用。

1961年，苏联又在北冰洋的新地岛爆炸了一枚威力相当于6000万吨TNT炸药的氢弹。这是世界核试验中最大的一次爆炸，冲击波绕地球三圈，头一圈用了6个半小时，具有巨大破坏力的冲击波速度相当于声音速度的5倍。

当氢弹破坏程度大到已经难以想象时，美国和苏联之间又开始了新一轮核武器竞赛。从20世纪60年代开始，核弹装上了火箭，速度与破坏力开始联姻。

1963年，美国制造出爆炸力相当于1000万吨TNT炸药的核导弹，射程1.5万千米，可以飞越半个地球，命中精度1500米。



▲ 广岛遭遇原子弹轰炸时，在距市中心8千米处拍摄的烈火浓烟照片

与此同时，苏联制造出装有3个核弹头的核导弹，每枚弹头爆炸力相当于500万吨TNT炸药，合计爆炸力1500万吨，每枚弹头可以分别击中各自的目标，命中精度650米；该国还生产了大批单一弹头核导弹，其爆炸力为2500万吨TNT炸药。

20世纪80年代中期，美国又制造出每个带有10枚~20枚核弹头的导弹，每一枚核弹破坏力为30万吨TNT炸药，可以分别命中目标，命中精度

◀ 广岛废墟中发现的一只钟，永远记录着原子弹爆炸的时刻

150米。

在第二次世界大战之后的50年间，美国生产了7万枚核弹，苏联生产了5.5万枚。它们的破坏力有的相当于1万吨TNT炸药，有的相当于数千万吨，一般单枚爆炸力相当于50万吨，相当于40颗当年投在广岛的核弹。在核军备竞赛最狂热的时期，美苏两国每年分别生产1000多枚核弹。目前一枚小型核导弹的破坏力，相当于第二次世界大战中1000架飞机轰炸的效果。

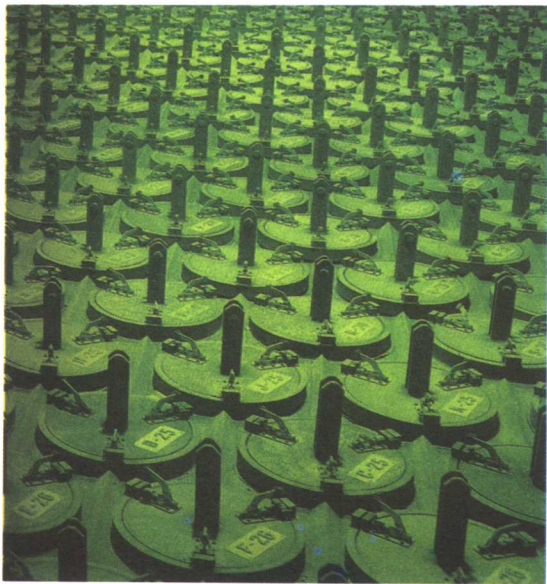
第二次世界大战期间，交战各方使用的所有爆炸物总计约为1000万吨，20世纪90年代，世界核武器的爆炸力超过其1000倍。若按全世界有60亿人口计算，平均分摊到每个人的核爆炸力，相当于2吨以上TNT炸药。到2007年初，俄罗斯核武库拥有近1.55万枚核弹头，其中5670枚核弹处战斗值勤状态；美国拥有9660枚核导弹，其中5735枚在役。或许，人类与动物之间的最大区别，是动物知道自己需要什么，而且知道需要的程度，而人类却不然。

任何人都难以想象，如果发生核战争将是什么后果。苏联氢弹之父萨哈罗夫曾在他的后半生奔走呼号反对核军备竞赛，因此被当局监禁。他在一封告诫人们的信中说：

“偶然事件、疯狂或无控制的核升级，都可导致全面的热核战争，这将使人类毁灭的危险变得越来越现实。”爱因斯坦终生后悔他签署了给罗斯福的信。第二次世界大战之后，他奔走呼号，呼吁禁止制造和使用核武器。有一名记者曾问他：“你认为第三次世界大战将会怎么打？”他回答说：“我不知道。但我知道第四次世界大战怎样打，用石

▼ 美国在太平洋上试验氢弹的照片





▲核电站用过的铀“燃料”仍有很强的放射性，处理这些核废料成了新的难题。图为美国一座核电站装在钢筒里的核废料，准备把它们深埋在数百米深的废弃矿井里

头和木棒。”因为核弹可能已使世界的物质资料、生产能力，以及人们可以享用的财富摧毁殆尽。

1999年1月4日，美国学者布洛克曼在他的网站向世界征询答案：“你认为2000年来对人类影响最大的发明是什么，为什么？”在不计其数的回答中，排在第二位的是“原子弹”，理由是“它能在几秒钟之内使人类回到石器时期”。

失控的核裂变或热核反应具有巨大的破坏作用，然而可控的核反应能够非常有效地解决人类面临的能源问题，即用人为的

方法控制核反应的强度和规模，使原子核温和持久地释放能量，为人类提供所需能源。

从原子核中取得能量产生电力，是人类和平利用核能的成功探索。虽然早在1942年费米已在第一个核反应堆中成功地获得可控制的核能，但利用核能发电还需解决一系列复杂的问题，需发明许多新技术，使核能利用安全、可靠、经济。

到目前为止，人类发明了多种用于发电的核能转换装置，它们的基本原理与费米当年的反应堆一样，都使用铀235通过链式反应产生热量，用可减慢中子速度的物质产生维持链式反应所必需的慢中子，用可吸收中子的镉棒控制反应强度，但运行方式各不相同。而今，成功的核电模式有三种。

第一种，用天然铀作“燃料”，采用在密封管道中循环的重水作为冷却剂，把反应堆产生的热量传递到热交换器中，加热在另一套管道中循环流动的普通水，使其产生蒸汽推动汽轮机发电。重水是氢的同位素氘与氧的化合物，其物理与化学性质同普通水相近，然而它能显著地减缓铀235裂变释放的中子运动速度，提高链式反应效率。反应堆运行时，封闭循环的重水压力达90个大气压，温度达300摄氏度。这种反应堆简称“重水堆”。

按照目前人类消耗石油和煤的速度，石油大约还可使用60年，煤大约可用200年~300年。寻找新的替代能源已经迫在眉睫。

第二种，采用低浓度铀235作为“燃料”，其中铀235含量大约3%，采用普通水做冷却剂（因为重水成本很高）。它又分两种工作方式：一种采用石墨作中子减速剂，作为冷却剂的普通水被核燃料加热之后，成为热水和蒸汽的混合物，通过分离器将热蒸汽导入汽轮机直接发电，留下的热水则继续循环，从堆芯中取得能量再次产生蒸汽，这种装置简称“沸水堆”。沸水堆运行时，作为冷却剂的普通水压力低于70个大气压，温度约285摄氏度。这种方式的优点是设备比较简单，然而进入汽轮机的蒸汽带有放射性，会污染发电系统。1986年4月，苏联切尔诺贝利核电站发生事故的就是这种“沸水堆”。另一种工作方式采用封闭的循环系统，使作为冷却剂的普通水与汽轮机发电系统隔离，水中加入硼的化合物，利用它减缓中子速度。运行时，冷却剂管道中压力高达120个~160个大气压，温度高于300摄氏度，在这样高的温度和压力下，水不能变成蒸汽，通过管道加热另一套循环系统中的水，使其成为蒸汽推动汽轮机发电。这种装置可以提高热量转换高效率，减少放射性物质对发电系统污染，它简称为“压水堆”。目前世界上许多核电站都采用这种设计。

第三种，仍然采用低浓度铀235作燃料，但是不再采用水作为冷却剂。由于水自身的物理特性，其工作温度和传送热量的效率都受到一定的限制，故人们改用气体做冷却剂。在这种反应堆中，采用石墨作中子减速剂，以二氧化碳或氦气为冷却剂。目前人们

▼ 美国内华达州的核试验场，在这里进行了800次地下核试验。试验原子弹炸出的一个个大坑，现在有的被用于埋藏核废料



更倾向于采用氦，因为氦传热特性非常好、热转换效率高，而且由于氦是惰性气体，原子核结构非常稳定，在反应堆里不会产生放射性物质污染热交换系统。在封闭系统中循环的氦从堆芯中获得热量，自身工作温度高达750摄氏度以上，通过热交换器加热普通水，产生蒸汽推动汽轮机发电，简称“高温气冷堆”。

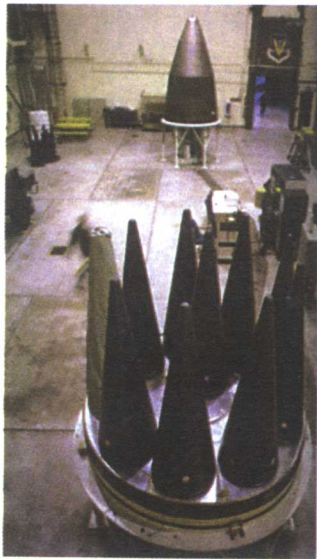
建立在核反应堆基础之上的一系列后续发明，迅速地使核电实用化。1945年，美国建造了第一艘核动力潜艇，利用核能发电驱动电动机推动潜艇航行。这种发电方式不消耗潜艇中的氧，燃料本身自重很轻，可以长时间在水下潜行。1954年，苏联建成第一座核电站，功率为5000千瓦，能够为一个6000人的小镇供电。2004年，全球用于发电的核反应堆已达441座，总发电量超过2.6万亿千瓦时，已占全球总发电量16%。其中法国核电已经超过全国总发电量的78%，美国超过20%。

2005年，全世界核电提供的能量，已经相当于燃烧10亿吨煤产生的电力。

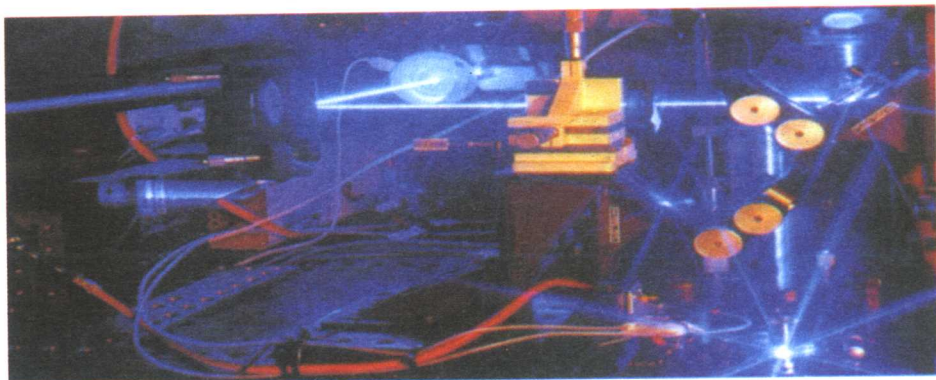
人们选择核电，既有经济原因也出于对环境的考虑。1千克铀235裂变释放的能量，相当于燃烧2400吨标准煤产生的热量。一座百万千瓦级的火力发电厂，每年消耗300万吨煤，产生60万吨灰渣，排放10万吨二氧化硫、3万吨氮氧化物、3500吨烟尘与1000万吨二氧化碳，会造成大面积酸雨，破坏生态；烟尘中则含有各种各样对人体有害的物质（例如重金属和砷）。运送这些煤每天都需要100节火车皮，运灰渣每天要用30个车皮；而发出同样电力的核电厂，每年需要铀燃料大约30吨~40吨，只要一节车皮就够用，它每年产生11.6吨核废料，深埋之后对环境不会产生危害。核电站在运行过程中，不产生污染环境的物质，不向大气中排放温室气体，只要人们精心设计安全保障体系、妥善处理核废料，核电即是一种比较理想的能源。人们做过一个调查，燃煤的火力发电厂排出的各种废物对人体健康的伤害，比同等规模核电厂产生的各种物质对人体的损害大830倍。

有人估计，按照目前人类消耗石油和煤的速度，石油大约还可用60年，煤大约可用200年~300年，寻找新的替代能源已经迫在眉睫。

不久前，人们发明一种新的核反应堆，有望解决未来相当长一段时期内人类面临的能源问题。这种核反应堆同时采用铀235和钚239作为“燃料”，在核燃料外面放置不能



▲美国军队在1986年装备的有10个核弹头的洲际导弹，它们可以分别瞄准10个目标，取名为“和平守护者”



▲ 激光核聚变试验装置

发生裂变反应的铀238。铀235与钚239在快中子作用下发生裂变释放能量，同时使铀238在快中子照射下变成钚239。在这种反应堆里，能量的释放和积聚异常迅速，水或气体都难以把核反应产生的热量带出去；人们采用液态金属钠或钾作为冷却剂，在密闭的循环系统中，金属钠或钾被“堆芯”加热后，与外部的水交换热量产生高温蒸汽发电。由于液态钠或钾传热能力比水大几十倍，可使反应堆输出巨大能量，同时保障运行安全。由于使用快中子激发铀和钚发生裂变反应，人们称之为“快中子堆”，简称“快堆”，还由于这种反应堆运行的时候，能够使从前无法使用的铀238源源不断地变成新的裂变材料，因而又称为“增殖堆”。

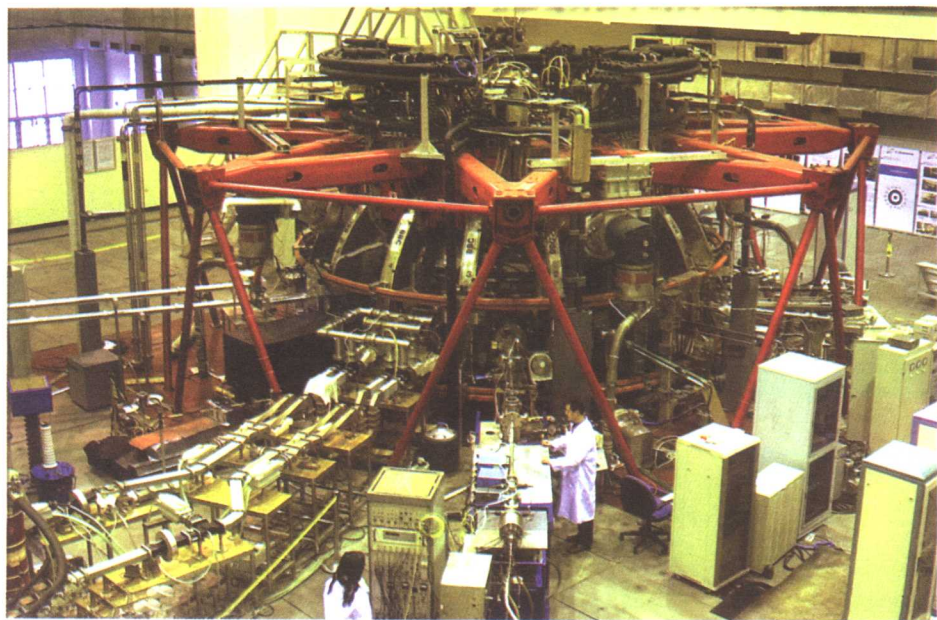
“增殖堆”可把天然铀中60%~70%的铀238变成核燃料钚239，而1克钚239裂变产生的热量相当于3吨煤。目前探明世界铀矿的储量大约460万吨，如果经过“增殖堆”处理，那么可以换算成13.8万亿吨煤，相当于目前世界已探明的煤储量约6000亿吨的20倍，可供人类使用数千年。

人们更希望实现可以控制的核聚变，因为地球上核聚变原料氘和氚极为丰富。1升海水含氘0.03克，经聚变产生的能量相当于300升汽油燃烧发出的热量。地球上的总水量大约为140万亿亿立方米，其中海水占99.3%，有氘大约40万亿吨。另一种聚变原料氚，因其具有放射性且迅速发生衰变，因而早在宇宙诞生时已变成其他物质，但是人们以可利用元素锂的同位素锂6（原子核中有3个质子和3个中子），在中子照射下发生核反应变成氦和氚。地球上锂的储量虽比不上氘多，但估计仍有大约2000亿吨，这些核聚

变原料足够人类使用上百亿年。

在地球上做太阳里发生的事，对人类的能力是巨大的挑战。

然而，实现可以控制的热核反应，远比用原子弹引爆氢弹困难。其困难主要在于两点：一是必须有足够高的温度，使氘



▲ 用磁场约束高温等离子体的核聚变实验设备，中国环流器2号A装置

和氦的原子核获得所需速度足以克服原子核之间巨大的静电排斥力，相互间充分接近才可能发生核聚变。据初步估算，其所需温度高达5000万摄氏度，目前尚无任何一种物质制成的容器可以承受如此高温；二是必须使发生聚变的氘和氚原子核密集地出现在反应的空间，并且长时间保持这种状态，不致四处逃逸。在发生核聚变的太阳内部，这两个条件都不成问题，太阳的质量比地球大33万倍，其巨大的引力可使参与聚变反应的原子核紧紧地团聚在一起，在巨大的空间范围同时发生核聚变，因而它很容易产生稳定的高温使这种反应持续进行。若在地球上做太阳里发生的事，对人类的能力是巨大的挑战。

20世纪后半期以来，激光技术的进展，使得人们可以利用超强激光束在很小的空间范围，瞬间达到氘和氚发生聚变所需高温。在高温下，氘和氚迅速变成电子与原子核分离的一堆正负电荷混杂的粒子，人们称之为等离子体；还由于材料科学的进步，人们能够利用电阻几乎为零的超导体材料做成线圈，通过巨大的电流产生超强的磁场，使氘、氚原子核以及游离的电子无法外逃，使等离子体紧紧地约束在与容器内壁隔离的狭小空间，为核聚变创造必要的条件。沿着这个方向，人们有望逐渐接近实现可控核聚变的目标。

当能源危机一步一步逼近人类之时，核能能使人们看到走出困境的希望。科学智慧有可能帮助人类获得这种永不枯竭的能源。然而，人类亦需要更高的智慧涤荡笼罩世界的核战争阴云，使人类的未来宁静与和平。■

十二 飞翔之梦

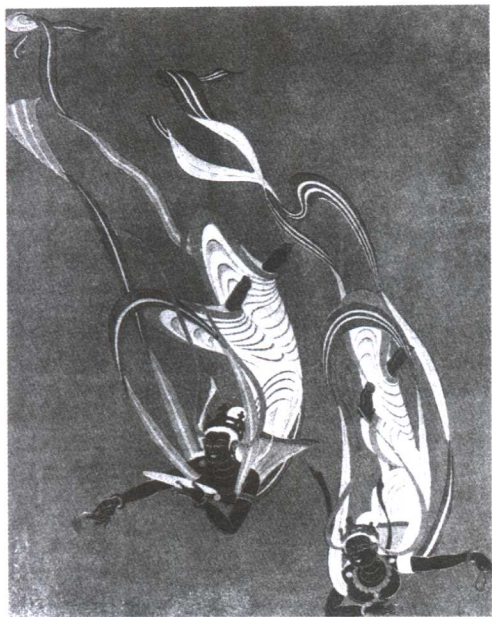
人类向往飞翔，飞向星光闪烁的地方。

在东方与西方神话传说中，神都会飞。希腊神话中的神藉翅膀飞；阿拉伯《天方夜谭》故事中的神施魔法踏毯而飞；中国的神则乘白云飞。在我国山东省嘉祥县出土的东汉时期武梁祠石刻画像中，有一幅《雷神出巡图》，众多天神推着雷神安坐云朵在天空疾行。从公元336—1368年，我国敦煌壁画中出现的飞天画面多达4500个，莫高窟492个洞窟壁画，个个都有飞天。古代人类不能飞，让神为自己圆梦。

科学史家怀特在一篇题为《中世纪的宗教与技术》的文章中谈到这样一则故事：大约1000年前，英国修道院有一位修士，他为自己装上人造翅膀，从教堂房顶乘风而降摔断双腿。这位名叫埃默尔的修士兴趣广泛，学识渊博，喜欢冒险。他模仿鸟儿飞行动作，打算轻快地在空中飞翔，然后平稳地落在地上，不幸重重地摔了下来。当人们把他从地上抬起来的时候，他说：“我忘记在背上装一条像鸟儿那样的长尾巴，才无法在空中保持平衡。”这是有历史记载的人类最早的试飞记录。400年之后，一位法国修士模仿埃默尔，带着翅膀从教堂的塔尖上跳下，当场身亡。

第一个对飞翔进行科学探索的人是达·芬奇，他相信鸟类有飞行的秘密，而人类能够复制这种秘密。在1486—1514年间，他设计了多种由人操纵的飞行器械，包括滑翔机、直升机和降落伞。幸好他没有亲自试飞，否则人类会过早地失去一位天才。实际

古代人类不能飞，让神为自己圆梦。



▲敦煌莫高窟321窟西壁佛龛南侧双飞天，唐代

下正对炉火松开双手，果然，烟托着它一直升到天花板。兄弟俩在室外点燃一堆碎羊毛和麦秸，当刺鼻的浓烟充满这个绸布口袋时，袋子升至23米高，然后缓缓地降落到地。后来，蒙特哥菲兄弟又用纸糊了一个大气球，用布做衬里，下端开口兜住热气。他们在地上烧了一堆火产生热气和烟，结果气球升至1800米高，降落在1600米之外，引来无数人围观。

这一发明引起了科学家和皇室的兴趣，兄弟俩被邀请到巴黎。人们希望他们做一次动物升空实验，看看在高空它们能不能存活。1782年9月，装载羊、公鸡和鸭子的吊篮随着热气球升上高空，后来安全返回，动物安然无恙。法国国王路易十六希望他们兄弟俩到凡尔赛宫广场表演，并准备让两个判死刑的囚犯登上吊篮随热气球升空。一位青年历史学家罗吉尔对此极为愤怒，他怒吼：“罪恶的死囚可以光荣地成为第一次升空的人吗？我才该去！”1783年11月21日，罗吉尔和另一个志愿者爬进吊篮，在巴黎上空航行了25分钟，平安降落在距起飞地9千米的地方，这是人类历史上第一次成功的自由飞行。三年之后，罗吉尔在一次气球飞行事故中丧生，成为第一位空难牺牲者。

上，人体的构造和功能是不适合飞翔的。有人计算过，如果要像鸟儿那样展开双翅飞翔，人体需要有1.8米长的胸骨架，才能支持牵动翅膀的肌肉。

人类第一次借助自然的力量离开地面，应该归功于两位法国年轻人，哥哥蒙特哥菲·约瑟夫（1740—1810）和弟弟蒙特哥菲·雅克（1745—1799）。兄弟俩喜欢数学，爱动手做实验，阅读兴趣广泛，十分熟悉富兰克林有名的风筝实验，读过英国化学家普利斯特莱（1733—1804）关于空气性质的论文。1782年，在注视炉子的烟冉冉上升的时候，他们突然想到它会不会把什么物体托起来？他们用绸布做了一个敞口的小袋子，袋口朝

第一个对飞翔进行科学探索的人是达·芬奇，他相信鸟类有飞行的秘密，而人类能够复制这种秘密。

使气球升空的力量来自四周空气的浮力。在海平面附近，20摄氏度时每立方米空气大约重1.3千克。温度升高，空气的密度减小。当温度为90摄氏度时，每立方米空气的质量大约为1.04千克。一只直径20米的气球，充满热气之后产生的升力可以达到1000千克以上，足以克服气球的自重，而且可以提起一只不断燃烧产生热气的炉子，带动载有几个人的吊篮升空。由于它利用热空气产生浮力升空，又称为热气球。

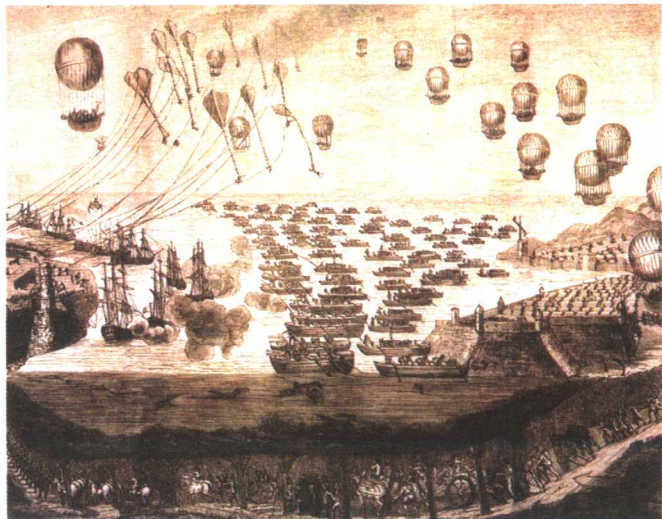
就在人类第一次升空10天之后，第二次载人飞行又开始了，还是在巴黎。不过，这次气球里灌的是氢气，1766年英国科学家卡文迪什（1731—1810）发现了这种比空气轻的气体。年轻的物理学家查尔斯和他的同伴坐在吊篮里飞了两个小时，飞行距离达到43千米；而当气球降落，同伴从篮子里爬出来的时候升力骤然增加，气球带着查尔斯又飞上了天空，一直飞到接近3000米的高度。查尔斯好不容易才令气球重新返回地面，他心有余悸，发誓再也不上气球的吊篮了。

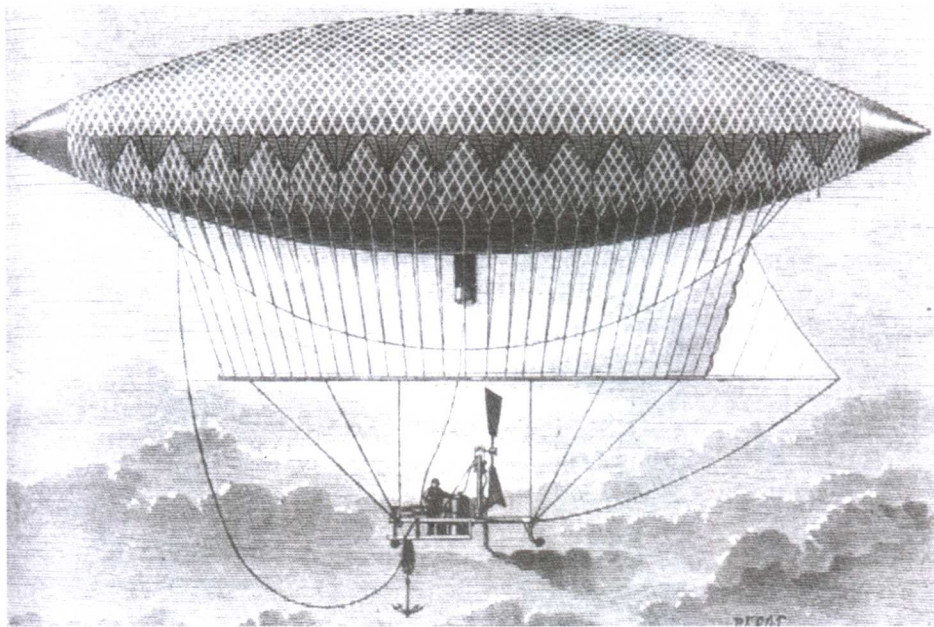
人们能够乘气球浪漫地升上天空，但是难以控制气球飞行的方向。有人提出为它装上可以调节角度的帆，有人主张给它装上像鸟儿一样的扑翼，还有人提出装上人力转动的螺旋桨推进器，这些方案都不成功——与庞大的气囊相比，它们产生的力量微不足道。

1852年，法国人吉法尔德发明了使用机械动力推动气球改变方向的技术。他在气球下面吊装一台3马力的蒸汽机，用它带动一个大风扇旋转，利用风扇的叶片产生水平推力。调整风扇的方向，可改变气球的飞行路线。他把气球做成长长的椭球体，像一支巨大的雪茄烟，以便减小阻力，人们称其为“飞艇”。实际上这种设计产生的水平推力也很有限，飞艇只能在无风的天气航行且速度很慢，仅为每小时10千米，比人在地上步行略快。

19世纪末，内燃机取代蒸汽机作为飞艇的推进动力。由于

►1803年，有人建议拿破仑采用气球、战舰和挖掘英吉利海峡隧道的办法进攻英国，这幅画表现了想象中大战的情景。气球刚刚升上天空，人们马上想到赋予它战争使命





▲吉法尔德驾驶蒸汽动力气球飞越巴黎上空，这是人类制造的第一艘飞艇

内燃机的重量比蒸汽机轻很多，高速旋转的桨叶可产生更大的水平推力，因而飞艇的飞行性能大为改观。1883年，德国工程师迪生代尔发明电动空中飞行器，首次采用蓄电池驱动的电动机为动力，消除了飞艇的噪声，减少了氢气爆炸的危险。

1897年，奥地利人施瓦尔茨采用轻金属铝做骨架支撑柔韧的气囊，使飞艇既牢固又减轻了自重；1897—1904年间，在法国谋生的阿根廷人桑托斯建造了几艘这样的飞艇，环绕埃菲尔铁塔飞行，还获了奖。后来，一位退休的德国军官齐伯林（1838—1917）与施瓦尔茨的遗孀结婚，继承了铝质骨架飞艇专利，在德国政府支持下开始大量制造军用飞艇。这种飞艇能够在空中滞留24小时以上，在第一次世界大战中，德军曾利用它轰炸英国。

第一次世界大战之后，德国与英国都加速发展飞艇。1918年，英国建造的飞艇首次飞越大西洋，耗时108小时。1928年，德国建造了豪华飞艇“齐伯林号”，长236米、宽30.5米，载客20名，飞越大西洋往返费用每人1000美元~3000美元不等。这艘飞艇共144次飞越大西洋，航程超过16万千米，运送旅客1.3万人，为当时航程最远、运载人数最多的飞行器。

1923年，美国人从大气中分离出稀有化学元素氦，发明了充氦气的飞艇。氦是一种

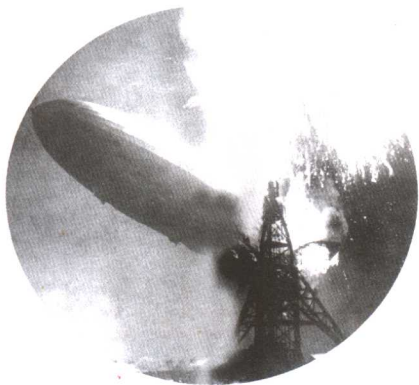
较空气轻的惰性气体，不会燃烧和爆炸，用于飞艇非常安全。“二战”前，美国严格禁止向纳粹德国出口氦气，德国人只能小心翼翼地驾驶氢气飞艇航行。1936年，德国建造了一艘比“齐伯林号”更大、更豪华的飞艇“兴登堡号”（以德国总统的名字命名）；1937年5月6日，它运载50名乘客首航到达美国，当其在新泽西州着陆时起火爆炸，当场死亡36人。至今人们也未查明其原因，有人说人是人为的故意破坏，有人说是电气火花引燃泄漏在空气中的氢气。这一悲惨的事故熄灭了人们对飞艇的热情。

早在蒙特哥菲兄弟的热气球升空之后不久，法国发明家凯利（1773—1857）便开始以另外的方式探索飞行，拟使比空气重的物体飞上天空。1804年，他设计制造了世界上第一架可以飞行的模型飞机。为了减轻重量，他用纸糊的风筝做机翼，机身是一根轻巧结实的木棒，木棒的后端装有十字交叉的水平尾翼和垂直尾翼，垂直尾翼转动时，可以控制飞机向右向左运动；水平尾翼上倾或下斜时，可以控制飞机爬升或俯冲。为使设计更加合理，凯利进行过模拟试验。他把各种形状的物体捆绑在高速水平旋转的长杆上，测量它们和空气发生相对运动时受到的阻力和产生的上升力。1809年，凯利出版了一部重要的著作《在空气中航行》，阐明比空气重的物体可以在空中飞行。在书中，他提出了飞行的原理以及制造飞机必须注意的三个问题：升力、阻力和控制。为了增大升力，提高飞行的稳定性，他还提出双翼飞机和三翼飞机的设计，这种飞机像是从上到下长着两对或三对翅膀的大鸟。凯利的构想超出了人类模仿飞鸟的阶段。

凯利多才多艺，他喜欢机器，亦喜欢大自然，他经常会在笔记本上画各种各样的动物、植物，他常常会在日记里记录各种不同领域的事情，他把一生献给了航空。1853年，凯利制作了一架足以载荷飞行员的大滑翔机。由于年事已高，他不能亲自驾机，便命令他的车夫拖着滑翔机沿山坡向下疾跑一段之后，迅速跃上滑翔机，在空中飞越了一

个村落。落地的时候，那位不情愿的“飞行员”要求立即辞职，他大声叫道：“我是来赶车的，不是来飞的！”这是人类历史上第一次无需气球牵引升空的无动力飞行。

人们曾制作过多种多样的模型飞机，测试它们在人为产生的气流中受力的情况，结果发现若使飞机升起来其实很简单，其关键在于机翼的形状和机翼掠过空气的速度。机翼的上面应该是弧面，而下面是平



◀ “兴登堡号”飞艇着陆时起火燃烧的情景

面；空气流过这种机翼的时候，上面的气流快，而下面的气流慢。根据18世纪瑞士科学家伯努利（1700—1782）发现的原理：慢气流压强大，快气流压强小，机翼上下两面受到的合力是一种向上的力；机翼面积越大，向上托举飞机的力就

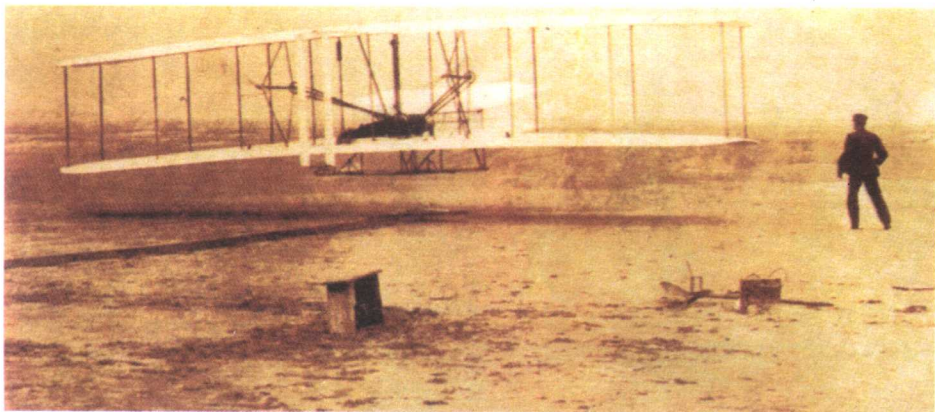
利用风洞试验研究飞机的造型和结构，标志人类向往飞行的创造活动由冒险走向科学。

越大，而气流速度越快，飞机的升力也就越大。1871年英国人韦纳姆专门制作了一个直径3米的空管，用蒸汽机带动风扇高速旋转，在空管中产生了速度达到每小时65千米的气流，用来设计最合理的飞机。这种可以产生高速气流的空管，后来人们叫它“风洞”。风洞试验的结果使人们惊讶：高速气流掠过机翼时，可以产生数倍于机翼自身重量的升力！这一发现坚定了人们制造飞机的信念。利用风洞试验研究飞机的造型和结构，标志人类向往飞行的创造活动由冒险走向科学。

德国工程师李林塔尔（1848—1896）对机翼进行系统的研究，制作非常详细的图表，列出不同形状的机翼产生的升力，为飞机设计提供了重要的科学依据，而且他还亲自驾驶滑翔机，成为人类历史上首次实现可控制飞行的先驱。

1894年，李林塔尔根据自己的研究结果设计制造了一架滑翔机，使之在平地垒起的小土丘上经助跑跃起，他乘滑翔机飞行了45米，而后平稳地降落在地面。随后，他在柏林郊外找到一处有断崖的小山。这一次，他拖带滑翔机登上崖顶飘然而下，并不断挪动身体重心以在空中保持平衡，滑翔了350米。李林塔尔不断改进滑翔机的设计和结构，驾机飞行了2000多次。他坚信，如果为滑翔机装上机器动力，一定能够飞起来。然而，在1896年的一次滑翔飞行中，一阵疾风使滑翔机失控，李林塔尔来不及挪动身

▼ 莱特兄弟试飞的情景，兄弟俩一人驾驶飞机，另一人推着小车为飞机助跑，起飞之后小车翻倒在地上，见图片右下方



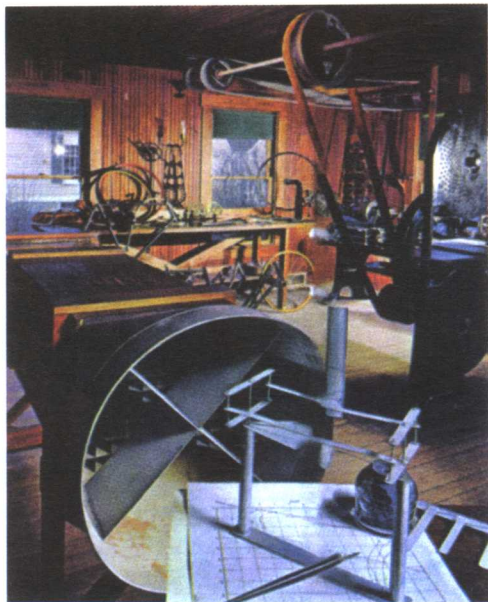
体，从空中坠落下来，第二天便离开人世，未能实现有动力飞行的夙愿。临终前，他讲的最后一句话是：“如果想飞行，就要作出牺牲。”

凯利和李林塔尔的探索实践，以及人们在风洞试验中获得的研究结果，为动力飞行准备了最重要的条件。实际上，风洞机翼升力实验的结果，已经使人们找到了牵引飞机前行的有效方法。既然水平气流掠过不动的机翼可以产生巨大的升力，如果让两片机翼头对头连接起来绕中心轴高速旋转，就会在旋转轴线的方向产生强劲的推力。这种力量足以使飞机克服空气阻力，快速飞行。这种组装在一起的旋转机翼称为螺旋桨。

后来，人们开始把用做火车动力的蒸汽机搬上飞机，让它作为螺旋桨的动力。由于蒸汽机太重，这种有动力的飞机不能飞，只能在地上跳。1874年，法国人泰蒙佩尔的蒸汽飞机可以跳起来滞留空中两秒钟。1884年，法国工程师埃达尔的蒸汽飞机跳起来飞行了46米。1896年，美国科学家兰利制造了一架无人驾驶的蒸汽飞机，它从搭建在房顶的高台上起飞，飞行了800米，在空中的飞行时间达90秒钟。

19世纪末，德国工程师戴姆勒（1834—1900）发明了汽油内燃机，这种汽油内燃机的重量很轻，能够产生强大的动力，它直接导致汽车诞生，也为飞机问世提供了最重要的技术基础。1903年12月17日，美国发明家莱特兄弟利用内燃机，首次实现了载人的有动力飞行。

莱特兄弟出生在美国北卡罗纳州一个牧师家庭，他们没有上过大学。1895年，他们开了一间修理装配自行车的作坊。然而，他们对飞行有浓厚的兴趣，自修德文，阅读了李林塔尔的著作，并向美国史密森学会（这是一个专门探究自然奥秘，并向公众传播科学的民间团体）索取了大量关于飞行的资料。在1900—1902年间，他们先后制造了3架滑翔机，进行了上千次飞行，反复改进其飞行能力和操纵性能。1901年9月，他们自己动手设计了一个小型风洞，以精确测量气流在机翼上产生的升力以及控制板偏转时使飞机转向的力，



▲ 莱特兄弟的工作室，图下方是他们自己设计制造的小型风洞



▲ 法国曾经试验过的多翼飞机，设计者以为机翼越多升力越大

获得了设计飞机最重要的数据。

1902年，莱特兄弟完成了内燃机动力飞机设计，但是没有人愿意为他们制造飞机专用的内燃机和螺旋桨，很多人认为这是无谓的冒险。他们只好从头学习发动机和推进器知识，摸索加工工艺，自己

制造了一台小巧紧凑、具有4个汽缸的汽油内燃机，这台汽油内燃机重82千克，能够产生13马力功率，比蒸汽机轻得多。他们又自己设计、制造了几副螺旋桨。

一年之后，莱特兄弟精心设计的这架飞机装配完毕，它是人类历史上第一架使用内燃机动力的飞机，其样式与人们今天看到的飞机大不相同。为增大升力，他们采用木条联结的双层机翼，机翼由蒙在枞木骨架上的棉布做成，可以保证设计要求的曲面形状又能最大限度地减轻飞机自重，机翼长12.3米，机翼前方有两块可以上下倾斜的水平板，用来操纵飞机升降。机身尾部有两块可以左右转动的垂直板，用来使飞机转向，就像是船舶在水中航行使用的舵。他们将汽油内燃机固定在下层机翼上偏离中线一侧的地方，通过传动装置使两台固定在机翼后方的螺旋桨旋转，利用气流产生推力使飞机前行；而驾驶员则卧在飞机中线另一侧，操纵内燃机的油门，通过钢丝控制前后小板的角度把握飞行姿态。莱特兄弟的这种设计可以使飞机重心保持在中轴线上。机身从头到尾长6.5米，其实，所谓“机身”不过是联结各种飞行部件的木架；飞机总重274千克，与一匹马的重量差不多，完全靠两副螺旋桨产生的动力起飞。试飞那天，人们用小车把飞机推到基蒂霍克海滩，当内燃机发动以后，随着螺旋桨转速加快，飞机与小车一起向前滑行，不久离开小车升上天空。由于这架飞机没有轮子，降落的时候只能靠飞行员精确地操纵油门和控制板使飞机减速，随着升力减小，机身刮蹭着地面停下来。

这一天共进行了四次飞行。第一次由弟弟奥维尔·莱特驾驶，飞机在空中摇摇晃晃飞行了12秒钟，降落在36米远的地方。第四次飞行由哥哥威尔伯·莱特驾驶，在空中摇摇晃晃

晃飞行了59秒钟，飞行了260米。

莱特兄弟驾机飞行的当天，有一名小报记者在场。人们问他如何报道，他不屑地说：“59秒算什么？59分钟还差不多！”然而他并未意识到，人类从此进入了飞行时代，飞机将改变人类的活动方式。

飞机的发明，使人类开始追求一种不能失败的创新文化。

1905年，莱特兄弟的飞机飞行距离已经达到32千米。1906年，欧洲第一架飞机升空。1908年，奥维尔·莱特驾驶的飞机失事，一道登上飞机的同伴当场死亡，成为飞机空难的第一位牺牲者，而奥维尔·莱特身负重伤，四年后故去。

1909年，伦敦《每日邮报》设奖悬赏驾机飞越英吉利海峡者，一位胆大的法国人布里奥罗用37分钟从法国越过海峡飞到了英国。1912年，人们发明了可在水面上起飞降落单翼飞机，飞行速度达每小时161千米。此时，飞机问世尚不足10年，它已超过人类步行速度的20倍。然而在人们心目中，飞机仍然被视作一种冒险的玩具。

第一次世界大战（1914—1918）爆发，飞机迅速成为新式武器并首先用于侦察。敌对双方飞行员在空中相遇，有时挥手致意，有时拔出手枪相互射击。机枪发明之后，人们拟把它搬上飞机时曾遇到这样一大难题：朝前方开枪的时候会射中自己的螺旋桨。德国人福克发明了一种高速旋转的联动齿轮机构，使机枪只在旋转的螺旋桨露出空隙时才发射子弹。从此以后，飞机开始用连发的机枪攻击地面的目标，随之出现了激烈的空战。装备机枪的飞机在空战的时候，总想绕到敌方身后攻击，很像两只打架的狗都想咬对方的尾巴。因而在英语中，空战又名“狗打架”，这个词一直使用至今。

飞机的发明，使地球上由陆地和海上进行的平面战争，发展成为包括天空在内的立体战争。第一次世界大战初期，参战各国约有飞机1500架。四年之后，在前线作战的飞机已多达8000架。战争期间，交战双方使用过的飞机多达十几万架。战争刚刚开始的时候，飞机的速度大约为每小时100千米，机身为木制并使用双翼，两对机翼自成

一体，机身搁置在机翼框架之中。1918年，德国人发明了全金属结构固定单翼飞机，它只有一对翅膀，刚性联结在机身上，飞机速度超过每小时200千米。战争初期，飞机飞



▲ 早期的飞机没有专用机场和跑道，跌跌撞撞地降落



▲1947年11月，一辆长着翅膀的汽车升上美国圣地亚哥天空。两个月后，第三次试飞时由于燃料耗尽坠落，从此这项发明夭折

行高度只有200米，飞行距离几十千米；而战争后期，飞行高度达8000米，飞行距离达400千米。第一次世界大战后期，轰炸机出现，曾轰炸过法国巴黎、英国伦敦和德国的一些城市。

第一次世界大战结束之后，大批飞行员失业。然而，人们对飞行的兴趣有增无减。有的飞行员开始为公众做特技飞行表演，有的人则渴望打破空中

飞行时间和距离的纪录。1919年，两名英国飞行员驾驶轰炸机从纽芬兰飞越大西洋到达爱尔兰，途中曾遭遇高空风暴，他们不得不爬出机舱清除冻结在机翼上的冰。1927年，美国飞行员林德伯格（1902-1974）单人驾驶邮政飞机，在没有无线电通信的情况下，从美国纽约飞行34小时到达法国巴黎。四年之后，飞行员赫尔顿和潘波驾机飞越太平洋。时隔一年，美国女飞行员埃米利亚单人驾机飞越大西洋；然而五年之后，她驾机环球飞行时消失在太平洋上空。1933年，波斯特首次完成单机环球飞行，中途降停11次，用了7天又8个小时。1938年，飞行员休斯使环球飞行的时间减少到3天又19小时。

发明家的智慧和飞行员的冒险精神，共同推进了航空技术的进步。到20世纪30年代，飞机已经变得更大、更结实、更快，时速达到480千米。这时，世界上出现了许多定期的客运、货运航线。与此同时，达·芬奇曾经构想的可以垂直起降的直升机也已问世，并于1940年投入使用。

第二次世界大战（1939-1945）进一步刺激了航空技术的发展，飞机由战争武器的“配角”一跃而成“主角”。此间德国人发明了配备三门火炮和两挺机枪的战斗机，日本人发明了操纵灵活的“零”式战斗机。1941年12月，日本出动100多架“零”式战斗机偷袭美国珍珠港，摧毁了美军在太平洋上最大的海军基地。美国则多次利用在航空母舰上起飞的飞机，歼灭日本在海上游弋的舰队。

飞机的发明，使地球上由陆地和海上进行的平面战争，发展成为包括天空在内的立体战争。

美国和英国还联合研制了巨大的远程轰炸机，被称为“空中堡垒”，其飞行距离超过8000千米。1945年8月，美军出动“空中堡垒”，携带原子弹轰炸了日本广岛。此前，美军轰炸东京，其出动的飞机曾多达500架。

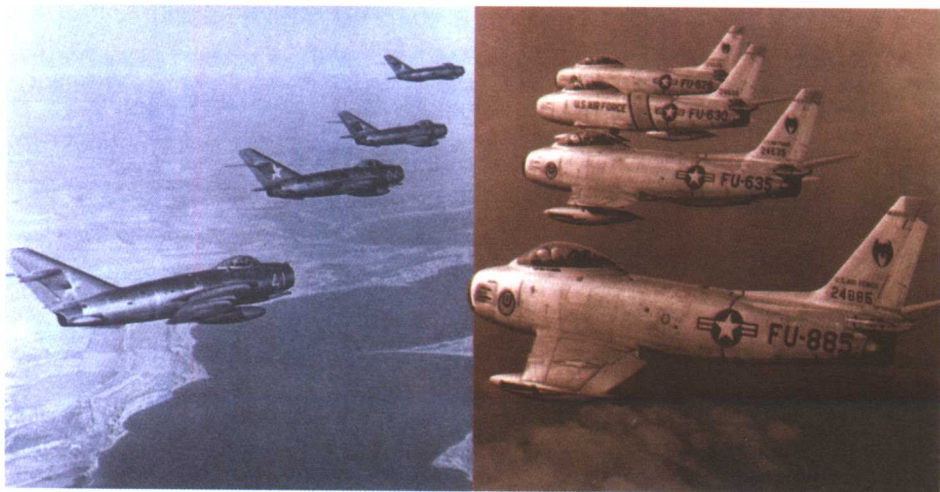
20世纪30年代，英国人惠特尔和德国人冯奥海分别发明了燃气涡轮发动机，他们利用向后喷出的高速燃气产生巨大推进力，使飞机速度迅速提高，摆脱了对螺旋桨的依赖。这种喷气式飞机飞行更加灵活，可以瞬间突然加速摆脱敌方的追击。虽然1939—1941年间德国和英国已经相继研制出可以实战的喷气式飞机，但由于战争中常规飞机消耗非常快，人们来不及完善它们，没有批量生产，因而在第二次世界大战中，喷气式飞机基本上没有发挥作用。

第二次世界大战结束之后，美国大力发展喷气飞行技术。1947年，美国人用一架重型轰炸机运载小型喷气式飞机到9150米高空放飞，这架喷气式飞机的速度超过了声音，成为人类历史上第一架超音速飞机。在朝鲜战争（1950—1953）中，喷气式飞机首次参加了大规模实战。

1960年，美国人发明了速度达到声音5倍的喷气式飞机，专门用于间谍侦察。1969年，英国和法国合作研制成功超音速喷气式客机，并于1973年投入商业运营，其载客100名，可在3小时之内由巴黎飞到纽约。1974年，美国研发的巨型喷气式客机投入运营，载客500名，可以不着陆连续飞越半个地球。

1925年，德国《航空》杂志曾刊载过一篇文章，预测“什么人将最适合乘坐飞

▼ 朝鲜战争中，喷气式战机首次在空中相遇。左为当时苏联制造的“米格”飞机，右为美国制造的“F—86”飞机



机”。其结论是三种人：漂亮的模特儿、精明的律师和有钱的商人。今天，飞机已经成为大众交通工具，每天全球乘飞机出行的人数以百万计。

飞机的发明，对人类文明进程无疑产生了深远影响。飞机加快了世界的节奏，提高了人类活动的效率。一位哲学家曾经说过：“一切财富最终归结为时间的节约。”在这种意义上，飞机对人类社会的价值不可估量。乘飞机，人们可以到达地球上任何地方，地理环境的阻隔不再成为人类活动的障碍。海洋、高山和沙漠都无法再阻止人类的脚步，不同的文明在人类频繁的飞行中得以发生更多的接触。飞机既可以成为全球紧密联系的纽带，也可以成为攻击敌方最便捷的工具，空军现已成为所有国家最重要的军种。

飞机的发明，使人类开始追求一种不能失败的创新文化。人类所有的发明几乎都经历过从幼稚、粗陋到成熟、完善的发展历程，有时这种过程非常缓慢，人们仍能容忍它们，然而飞机则不然。科学家计算过，人只要从5米高处跌落，就会导致伤残，飞机升上天空必须万无一失。飞机，是想象力、创造性、科学精神和严谨行为完美结合的产物。人类在发明和改进飞机的努力中创造了这种文化，这种文化将对其他领域的活动产生深远影响。

借助气球和飞机，人类只能在大气圈内飞行，然而人类还想去更远的地方。

早在17世纪，德国天文学家开普勒在发现行星运动三定律时，曾以极其浪漫的笔调撰写一部传播天文知识的寓言小说《月球天文学》，假托梦境述说一个旅行者登临月球的故事，旅行者去月球的细节和几百年之后发生的真实情况十分相似。小说中这样写道：

“最初的动作非常不舒服而且很危险，因为旅行者是被猛扯上去的，就像给火药爆炸推出去一样。在同温层上空，旅行者遭遇到严寒，而且没有可供呼吸的空气，旅行者还会感到失重。”开普勒是极审慎的科学家，不愿意对前往月球的方法妄加猜测，只说旅行者是“被妖精送上去的”。200年后，法国科学幻想大师儒勒·凡尔纳（1828—1905）在他的小说《月球旅行》中，用一门275米长的“超级大炮”把旅行者送上了月球。

人类要离开地球到太空去，会遇到两大难题：第一，需要克服地球的引力，引力就像一条看不见的绳子，拴着地球上的一切物体；第二，远离地球之后没有空气，气球和飞机在太空都不能飞行。这时，人们想到了火箭。

火箭发明于古代中国，800多年前，火箭已经成为中国北宋时期的一种民间玩具。史书上还有关于宋代士兵用火箭攻打蒙古族军队的实战记载。当时火箭的燃料是黑火药，壳体是纸或竹筒。

18世纪初，印度军队在抗击英国殖民者的战争中曾多次使用火箭。1804年，一位在印度作战的英国军官康格里夫（1772—1828）改造了这种火箭，他采用金属筒装火药，尾

部加上一根细细的长杆用以提高飞行的稳定性。他还发现，当发射角为55度时，火箭射程最远。1805年，康格里夫的火箭曾被用来攻击法国军队。1807年，英国用它攻打丹麦的哥本哈根，射程达到2000米以上，一枚火箭装填弹药达到3千克。这次战役之后，英国建立了世界上最早的火箭特种部队。后

一位哲学家曾经说过：“一切财富最终归结为时间的节约。”在这种意义上，飞机对人类社会的价值不可估量。

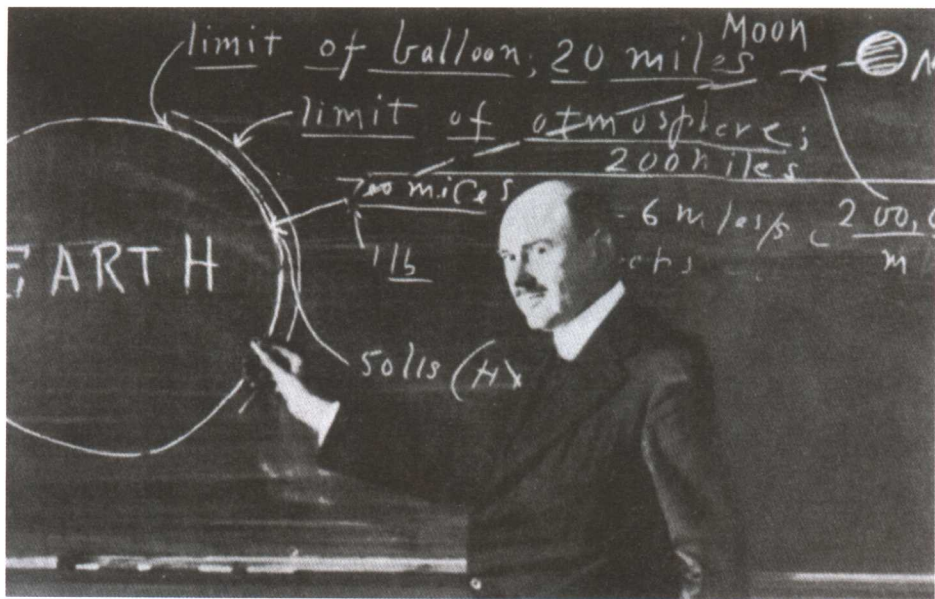
来，英国人哈尔用三片精细加工的尾翅代替康格里夫的导向杆，进一步提高了火箭的命中精度。19世纪90年代，另一位发明家泰德·昂吉采用威力更大的火药，并且使火箭在飞行中高速旋转，进一步提高了火箭的射程和命中率，使其能够与当时的大炮媲美。这些努力已经把固体燃料火箭的潜力发挥到极致，为后来火箭技术的发展积累了重要的资料。

牛顿力学诞生之后，不断地有科学家根据万有引力定律和地球、太阳的天文数据进行计算，得出惊人的结论：在地球表面上空的物体如果沿水平方向高速运动，当速度达到每秒7.91千米时，物体受到的离心力将抵消地心引力，不会落回地面，成为绕地球轨道运行的卫星；当速度超过每秒11.18千米时，可以逃出地球引力的控制，离开地球进入太阳引力范围成为太阳系中的一颗行星；当速度超过每秒16.3千米时，可以离开太阳系进入外太空，在银河系漫游。人们把这三个数值分别称作第一宇宙速度、第二宇宙速度和第三宇宙速度。

火箭是唯一可以达到这种速度的运载工具。1903年，俄国学者齐奥尔柯夫斯基（1857—1935）在莫斯科《科学评论》杂志上发表文章，题为《利用喷气装置探测宇宙空间》，提出利用液体燃料火箭探测宇宙空间的构想，推导出计算火箭速度的公式。他认为，固体燃料火箭无法控制火药的燃烧状况，而且燃料中自行分解出来的氧不足以维持火箭长距离飞行。后来，他还绘制过宇宙飞船草图，论证单级火箭难以达到第一宇宙速度，因而提出多级火箭的设想。齐奥尔柯夫斯基是一位伟大的航天理论家，然而作为中学教员，当时他没有实践的条件。

从理论上讲，借助火箭实现宇宙航行没有任何困难。如果火箭同时带有燃料和供燃烧使用的氧，可在太空飞行过程中多次加速，达到飞离太阳系所需速度；若火箭在飞行过程中控制其燃气喷发的方向和强度，便可自如地调节火箭在太空运动的姿态和速度，还可使它在星球上缓缓地着陆。太空飞行没有空气阻力，一旦脱离地球大气圈，火箭就可依惯性运动，自由飞行，不再需要消耗能量。人类可以利用火箭到达宇宙间遥远的地方。

美国物理学家戈达德（1882—1945）最先将液体燃料火箭的构想付诸实践。他从小即对火箭着迷，上中学的时候读过英国历史学家威尔斯（1866—1946）的名著《星际战



▲ 戈达德在论述飞出地球的条件

争》，他想象如果未来发生战争，应该想办法使人类迁移至其他星球。戈达德在1909年提出过一篇论文，坚信液氢和液氧组合是液体燃料火箭推进剂的最佳选择。然而液氢的获取要求很低的温度，当时没有厂家愿意为其生产。1916年，戈达德得到美国史密森学会资助的5000美元，继续宇宙航行和液体燃料火箭的研究；1919年，他发表专著《到达极端高空的方法》，其书稿长达69页纸，如今这部书已成为宇宙航行与火箭技术的经典文献；1926年，他发现汽油与液态氧组合，是更为切合实际的火箭推进剂，并在马萨诸塞州成功发射世界上第一枚液体燃料火箭。这枚火箭重4.5千克，飞行时间2秒半，飞行高度12米，飞行距离56米，火箭发射后落到了邻居的菜地里。

戈达德埋头研究火箭的时候，几乎所有的人都嘲笑他，说“这个从月球上来的人，古怪荒唐，精神有毛病”，然而戈达德坚信，自己已为人类未来宇宙航行找到了合适的交通工具。1927年，他为自己1919年写的一篇文章《最后的迁移》追加了一段话：“探测太阳系之外的恒星，应该选择海王星的第一颗卫星作为出发点。在那里装配设备，使火箭点火起飞。”考虑到贸然发表未免过于大胆，他把这份手稿放入一位朋友的保险柜，封面上有段警告：“这些笔记只能由乐观主义者阅读。”

在1929年7月的一次试验中，戈达德的火箭爆炸，惊动了警察局。当局查封了他的实验室，禁止他继续试验。这次事故成为一件公众新闻，曾单人驾机首航越过大西洋的

飞行员林德伯格极为赞赏戈达德的工作，帮助他获得一笔数额不大的研究基金。由于这位飞行英雄的声望，警察局做出让步，同意戈达德继续试验，但条件是必须挪地方。

借助气球和飞机，人类只能在大气圈内飞行，然而人类还想去更远的地方。

1930年，戈达德把实验室搬至新墨西哥州的荒原，并建立了世界上第一个专业的火箭试验场。那里气候恶劣、蚊虫极多、工具缺乏，协作加工异常困难。为了能够重复使用试验火箭，他还自制降落伞，防止火箭着陆摔坏。在一次试验中，保持火箭稳定的陀螺仪出现故障，点燃的火箭在地上乱窜，吓得同事们手脚平摊匍匐在地躲避爆炸劫难，这时戈达德仍站在仪表盘金属挡板后面读取数据。1935年，戈达德的液体燃料火箭飞行距离达到2500米。

第二次世界大战爆发之后，戈达德多次上书美国政府，希望支持他的火箭研制工作，当局不予理睬。曾与戈达德在一起工作过的几个人当时在军界工作，他们说服军方勉强拿出一小笔钱，让戈达德为舰载飞机从甲板上起飞加装一个火箭助推器。戈达德即迁往美国东部，但不久他即因患喉癌去世，未能看到自己的火箭升上太空。

作为液体燃料火箭的先驱，戈达德完成了现代火箭技术中许多重要的基础性发明，其中包括完整的火箭总体设计、最早的火箭发射程序、精确控制火箭飞行路线的陀螺

仪，以及跟踪火箭飞行轨迹的光学观测系统，为此获得了200多项关于液体火箭的专利。戈达德的理论研究和探索实践，为现代火箭技术奠定了基础。

戈达德在美国孤军奋战之时，火箭热在德国民间悄然兴起。一位名叫奥伯特（1894—1989）的学者，在1927年发起组织了一个业余爱好者团体“宇航学会”，奥伯特本人是一位研究火箭的专家。20世纪30年代，希特勒（1889—1945）上



戈达德曾邀请美国国家地理杂志社派人采访他的火箭试验。去试验场的路上，记者替他搬运火箭头部的罩子，由于总是失败，没有写成报道

台，纳粹军队接管“宇航学会”，使其成为一个专门为战争服务的研究机构，学会中的一些成员则成为这个机构的雇员，其中包括奥伯特的助手、柏林理工大学的年轻人冯·布劳恩（1912-1977）。在冯·布劳恩的领导下，德国在1933年研制出用于实验的液体燃料火箭。火箭重150千克，长1.4米，直径0.3米，推力达到300千克。

当年，希特勒曾在两种新式武器方案中进行选择：核武器和火箭。希特勒选择了后者，纳粹德国便倾其所有扶持冯·布劳恩的研究，并且下达命令，命其制造出射程275千米、弹头装1吨烈性炸药的导弹。

1944年9月，在冯·布劳恩的领导下，德国研制出一种具有巨大威慑力量的导弹：弹长14米、直径1.6米，装填烈性炸药800千克，最大飞行速度达到每秒1700米（是音速的5倍），在100千米高空飞行，射程320千米。火箭以酒精和液氧作为推进剂，最大推力27吨。这种新式武器即刻被用于空袭伦敦。当爆炸声响起之后，人们才听到火箭由天呼啸而降的声音。从1944年9月至1945年3月，纳粹德国仅向英国本土就发射了4300枚这种火箭。这是世界上最早投入使用的弹道导弹，取名V-2。在英语中，“V”寓意“胜利”；在德语中，“V”寓意“复仇”。这些“喝酒”的火箭没有奔向遥远的太空，而是指向了人类自身。

1945年5月2日，美军在欧洲战场俘获了包括冯·布劳恩在内的100多名世界第一流火箭专家，得到了全部V-2火箭资料及部分火箭零件。稍后不久，苏联军队俘获了一批德国第二流火箭专家，截获了大批V-2火箭，抢夺了火箭试验场的全部设备和图纸。

美国和苏联成为德国V-2火箭的继承者。冯·布劳恩被迅速转移到美国，开始进行新的弹道导弹设计研究工作。苏联则在年轻的火箭专家科罗廖夫（1906-1966）领导下进行火箭技术研究。20

世纪50年代，美国和苏联同时研制成功洲际弹道导弹。

这种弹道导弹可以跨越半个地球攻击敌方目标，运载火箭已经超过第一宇宙速度。

1957年10月4日，苏联利用多枚火箭同时点火的技术，发射了世界上第一颗人造地球卫星，这颗卫星重83.6千克，3个月后坠毁。

► 实战中的V-2火箭



人造卫星能够从太空轨道俯视地球，观察发生在地球表面的多种自然现象和人类活动，帮助人们了解地球生态变化，勘察自然资源、监测自然灾害、获取气象预报必需的信息，它也被用作新的军事侦察手段。现在，环绕地球的太空轨道已经有数千颗不同用途的人造卫星，其中许多用于窥探他国军事、经济等方面秘密。

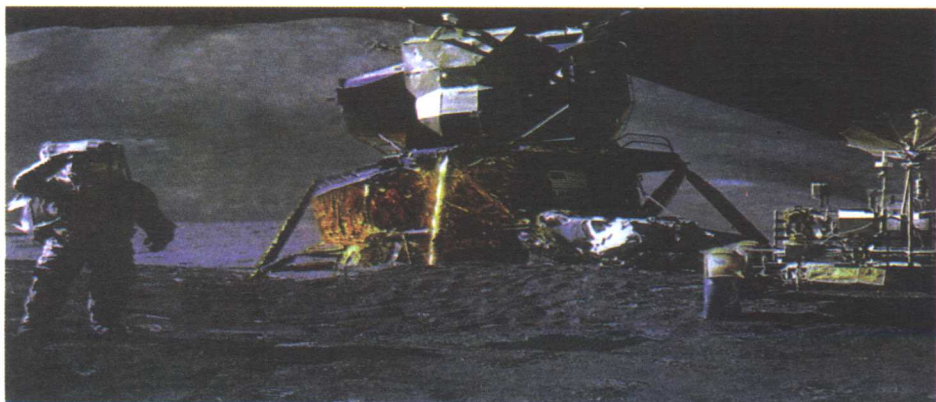
1961年4月12日，苏联载人宇宙飞船升空。当其环绕地球飞行108分钟后，飞船高度下降，航天员加加林在离地面7000米处被弹出，乘降落伞平安返回地面。这次太空飞行表明，人类脱离地面绕地球高速旋转，在生理上是可以承受的。航天员亲历太空，证实人类在宇宙空间生存是可能的。

随着火箭技术的进步，人们开始把人造卫星送上更高的空间轨道。1964年8月9日，美国发射同步通信卫星。这种卫星距地面3.6万千米，每24小时环绕地球一周。从地球上看来，它好像在太空静止不动。如果发射三颗这样的卫星，使它们分布在地球上空相互呈120度角的方位，它们发出的电磁波便可覆盖全球。从地面上发出的电磁波信号通过它们转发，可以避开地球表面凸起的曲面阻隔，到达地球上的任何地方。人类发明无线电70年之后，借助航天技术实现了全球通信。

1969年7月20日，美国“阿波罗11号”宇宙飞船经过4天太空飞行，行程为38.6万千米，把两名宇航员送到月球表面。他们在月球上停留21小时，采集了大量月球岩石样品，然后离开月球平安返回地球。从飞机离开地面到人类登上月球，其间只用了66年时间。

美国此次登月计划共计耗资230亿美元，动员了2万家厂商及40万名工作人员，成为有史以来最庞大的系统工程。后来，美国又进行了5次载人登月飞行，共有12人来到月球。这些航天员在月球上共停留280小时，足迹延伸到100千米以外的地方，他们研究了

▼ 1969年美国航天员登上月球，中间是登月舱，右边是在月球上行驶的探测车，航天员笨拙的身姿表明还不适应月球引力



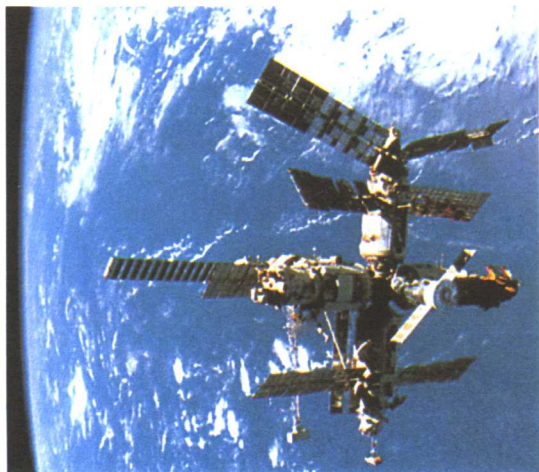
月球残留的火山活动，考察了月面地质地貌，结果发现构成月球的物质与地球上的岩石大体相似。航天员带回月球岩石样品共440千克，科学家根据它们推算月球形成的年龄约为44亿年，比地球年龄略小。

从飞机离开地面，到人类登上月球，其间只用了366年。

1971年4月19日，苏联在环绕地球的太空轨道建立了第一个永久性试验基地——“礼炮1号”空间站。利用空间站特殊的环境，人们可从事在地球上无法开展的科研工作。空间站绕太空轨道飞行时，地球引力和离心力相互抵消，航天员感受不到重力，飘浮在空中，用力呼出一口气便会使身体向后移动。在这种重力几乎消失的空间，仅仅存在遥远星体产生的微小引力，物质运动变化呈现出许多新的现象，人们可以在这种环境里制造没有缺陷的晶体、合成新的化学物质、研究失重条件下胚胎发育生长的规律。苏联的第一批航天员于同年6月6日乘宇宙飞船到达空间站，在这个太空实验室工作了22天，而后乘宇宙飞船返回地球。当他们的飞船准备降低轨道进入大气层时，密封舱泄漏，空气逸出，航天员全部窒息死亡。3个月后，“礼炮1号”空间站坠入地球大气层。

1976年，苏联正式制定新的空间站计划，新的空间站命名为“和平号”。1986年2月20日，“和平号”的主舱发射升空，空间站在使用过程中不断加装其他舱室，扩大功能，直到1996年4月组装完成，总重量达到116吨，总容积达到470立方米，像是一个巨大的太空拼装玩具。

“和平号”空间站在太空轨道上工作了15年，先后有10多个国家104名航天员到空间站工作，进行了16,500次各种科学实验，同时长期观察太空环境对生命活动的影响。2001年3月6日，由于空间站部件老化，年久失修，坠落在太平洋中。



1998年8月，美国开始建造更大的空间站，称之为“太空实验室”，利用它进行规模更大的太空科学研究，同时使它成为向更深的宇宙空间进发的太空基地。

20世纪80年代初，美国发明了航天飞机。1981年4月12日，美国航天飞机“哥伦比亚号”载两名航天员首次试飞，经过54.5小时飞行，绕地球36圈后于14日安

国际空间站



▲ 在“挑战者号”航天飞机上遇难的7位航天员升空前的合影

全着陆。这架航天飞机有44个喷气发动机，可以在太空和大气中任意调整飞行姿态和飞行速度。航天飞机是把通常的火箭、宇宙飞船和飞机技术集成起来的一种新型空间运载工具，它能够在宇宙航行中往返飞行多次使用。

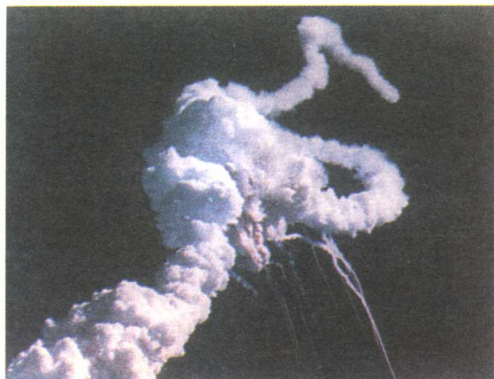
载人航天是隐伏各种灾难的太空探险活动，危险的旅途随时可能夺去探险者的生命。太空旅行需要极为复杂的生命保障系统，人们在地球上积累的经验，常常不足以应对从未经历过的瞬息万变的太空飞行环境。人类英雄主义的情怀，鼓舞着先驱者义无反顾地一次次踏上太空的征程。

1986年1月28日，美国“挑战者号”航天飞机载7名航天员发射升空，当时电视设专题节目向全世界实况转播此次升空过程。73秒钟之后，以3倍音速升到17千米高空的“挑战者号”突然爆炸，7名航天员和价值12亿美元的航天飞机顷刻间化为数千块碎片散落在大西洋中。航天员中有一名女教师，原准备在航天飞机现场为地球上的孩子们讲一堂太空知识课，但发射现场和电视机前的人们惊愕地看到了这悲壮的一幕，无数孩子放声大哭，呼喊他们的老师。这时人们想起在“阿波罗4号”飞船失事中遇难的航天员格里索姆生前对飞船设计师说过的一段激动人心的话：“要是我们死亡，大家要把它当做一件寻常的普通事情，我们的事业是一种冒险的事业，万一发生意外，不要耽搁计划的进展。征服太空是值得冒险的。”

2003年1月22日，“哥伦比亚号”航天飞机在完成16天太空飞行任务返回地球时，在高空爆炸，7名航天员全部遇难。2005年7月26日，“发现号”航天飞机载着7名航天员再次升上太空。

航天技术以前所未有的速度拓展人类知识的疆界。1990年4月，美国利用航天飞机把哈勃太空望远镜送上距离地面500千米的太空轨道，使人们能够在没有大气干扰的环境里观测宇

载人航天是隐伏各种灾难的太空探险活动，人们在地球上积累的经验，常常不足以应对从未经历过的瞬息万变的太空飞行环境。然而，人类英雄主义的情怀，鼓舞先驱者义无反顾地一次次踏上太空的征程。



▲“挑战者号”航天飞机爆炸的情景

大失所望，科学家发现，是望远镜的光学系统设计出了毛病。当时科学家对此有两种解决办法：一种是重新制造一台望远镜替换它；另一种是根据哈勃望远镜“近视”的程度在地面为它配一副“眼镜”，请航天员乘航天飞机为它佩戴以“矫正视力”。人们采纳了第二种方案。航天员乘航天飞机在太空轨道轻轻“抓”住这台有视力缺陷的望远镜，为它戴上定做的非常精确的“眼镜”。由此“哈勃”发回地面的照片立即变得十分清晰，人们从未见过如此奇妙的天象景观。通过哈勃太空望远镜，科学家看到了银河系之外恒星死亡的过程；看到了彗星撞击木星在木星上出现的疤痕；发现了太阳系之外的行星上存在大气；还第一次找到了宇宙中存在“黑洞”的证据。

借助威力强大的火箭，人类已经近距离地考察了太阳系的大部分行星，携带探测仪器的飞行器已在距地球最近的两颗行星——金星和火星登陆，实地考察组成行星的物质和它们真实的物理环境。

探测结果表明，以西方神话中的爱神“维纳斯”命名的金星，远不如神话描述的那样浪漫，金星大气的97%是二氧化碳，其压力高达90个大气压，相当于地球海下900米深处的压力，人类如果到达金星表面马上会被压得粉碎；金星大气温度高达470摄氏度，比人们厨房里烤箱的温度还要高；大气中没有水也没有氧。在50千米厚的二氧化碳大气层上方，笼罩着30千米厚的硫酸蒸气，“酸雾”弥漫。实际上，这颗美丽的行星是真正的地狱，那上面没

宙。这架望远镜的物镜直径2.4米，有十分灵敏的探测器，可以探测宇宙中十分微弱的光信息，能够发现6000千米之外一根火柴的亮光。这架太空望远镜取名“哈勃”，是为了纪念为“宇宙膨胀”学说提供重要观测依据的美国天文学家哈勃（1889—1953）。

哈勃望远镜进入太空轨道后，发回的第一批观测照片十分模糊，令人



▲行星探测器拍摄的金星近照



▲ 通过遥感卫星信息合成的美丽的地球照片

有生命。

人们多次将探测仪器送到火星表面，其探测结果表明，火星表面是一片死寂的荒漠，偶尔出现遮天蔽日的尘暴，那上面既无神奇的火星星人，也没有人们想象的河流。火星大气的主要成分还是二氧化碳，火星表面气压只有地球表面大气压力的1%。夏季的白天，火星表面温度为0摄氏度左右，夜晚没有日照时气温迅速降低到零下80摄氏度。最近，科学家通过火星探测器实地分析火星岩石结构，找到了过去火星上曾经有

水的证据。人们预测，地球未来的景象可能会像今天见到的火星。

航天技术以前所未有的方式扩大了当代人类活动的疆域，同时为未来人类创造了在宇宙中能够长久生存的机会。天文学家认为，任何恒星都有其生命周期，太阳已近壮年，数十亿年之后，它的光和热将会消失殆尽，地球将不再能享受它的恩泽而逐渐地变为一颗不适于物种生存的荒漠之星；而航天技术有可能帮助人类在这一天到来之前，到茫茫的太空寻找并创建新的家园。

1977年夏天，美国航空航天局发射了两艘探测太阳系的飞船“旅行者1号”和“旅行者



► 2003年10月15日9时，中国载人飞船“神舟5号”在酒泉卫星发射场升空

2号”。其中一艘飞船的轨道与太阳系行星轨道平面平行，另一艘的轨道与行星轨道平面垂直。在13年的时间里，它们分别考察了木星、土星、天王星、海王星和它们的数十颗卫星。1990年2月初，当它们在海王星附近相会，即将离开太阳系而成为在宇宙间永久巡游的人造天体时，著名行星天文学家卡尔·萨根（1934—1996）建议此时在这里拍摄一张遥望地球的照片。他说：“这可能是宇宙间其他生命来到太阳系时第一眼看到地球的情景。”美国航空航天局采纳了他的建议，马上向“旅行者2号”飞船发出控制指令（无线电信号从地球到达飞船需要5个半小时），使飞船摄影机镜头对准



▲哈勃太空望远镜拍摄的星云，无数新的恒星正在其间诞生

59亿千米之外的地球，调整曝光时间，拍摄了60张地球的照片。这些照片中的每一幅有64万像素，编码之后通过无线电信号耗时3个月才陆续传送到地球。人们从图片中看到的，是一个黑暗背景中孤零零的暗淡蓝点。这个暗淡蓝点就是地球。

在浩瀚的宇宙中，地球显得微不足道，孤独地在太空漂泊，偶尔有几个气体分子逃逸到宇宙空间，偶尔有不知来自何方天体的几个粒子随机散落在它的表面。这个蓝点外面有一层薄薄的大气，呵护栖息在它表面的脆弱的生命。这些生命之中有一种生灵，在这里发明了有别于自然的事物，创建了自己的文明，为宇宙赋予了特殊意义，他们就是人类。■

回望人类发明之路



在浩瀚的宇宙中，地球不过是一个暗淡的蓝点，显得微不足道。它孤独地在太空漂泊，偶尔有几个气体分子逃逸到宇宙空间，偶尔有不知来自何方天体的几个粒子随机散落在它的表面。这个暗淡的蓝点外面有一层薄薄的大气，呵护着栖息在它表面的脆弱的生命。这些生命之中有一种生灵，在这里发明了有别于自然的事物，创建了自己的文明，为宇宙赋予特殊意义，他们就是人类。

ISBN 978-7-200-06818-4



9 787200 068184 >

定价：35.00元