

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

一百项中华发明



## 一百项中华发明

## 阴阳合历

历法是人们创立的关于年月日时的安排的纪时系统。古人日出而作，日落而息，太阳出没的周期“日”，就自然而然地成为人类最早认识到的计时单位。月亮有规律的圆缺变化，又使“月”成为一个重要的计时单位。人们从寒暑变化、草木枯荣、动物迁徙等自然现象中，进而认识了更长的时间单位“年”。以太阳运动为主要依据的历法叫阳历，以月亮运动为主要依据的历法叫阴历，兼顾太阳、月亮两种运动的历法叫阴阳历。

在古代世界的各文明国家和地区，有采用纯阳历的，有采用纯阴历的，也有采用阴阳合历的。中国古代采用的是阴阳合历，而且使用的时间最长，历法系统也最为丰富和完善。它不单是关于历日制度的安排，还包括对太阳、月亮和金、木、水、火、土五大行星的运动及位置的计算，恒星位置的测算，每日正午日影长度和昼夜时间长短的推算，日月交食的预报等广泛的课题。从某种意义上可以说，中国古代的编历工作，相当于近现代编算天文年历的工作。

中国的历法大约起源于 4000 多年前的新石器时代晚期。传说在公元前 2400 年时，颛顼帝已设立“火正”，专司对大火星（心宿二，天蝎座星）进行观测，以黄昏时分大火星正好从东方地平线上升起时作为一年之始，亦即这一年春天的到来。据《尚书·尧典》记载，公元前 2000 年的帝尧时，“乃命羲和，钦若昊天，历象日月星辰，敬授民时”。当时已经定出春分、夏至、秋分、冬至的时刻，来作为划分一年四季的标准。由于是用观测天象的方法，来确定年月日和季节的，故史称之为“观象授时”。至春秋战国时期，已经创立了四分历，即取一年的长度为  $365\frac{1}{4}$  日，1 月 29 日多，1 年 12 个月，大月 30 天，小月 29 天，大小月相间，19 年置 7 个闰月。自此之后，中国的历法随着历史的推移，不断得到改进，并形成了各具特色的历法体系。

从中国的历法发展史上，可以看到，历史上不断地以测算日月食、推朔（新月出现的时刻）、验气（节气）、推校五星行度等手段，来校验历法的准确程度，使历法处于不断改革、推陈出新的演变进程之中，从内容到形式都日臻完善与准确。据不完全的统计，历史上颁行及未颁行的历法达 100 种以上。这是世界上其他国家和地区所无法比拟的。而且，历法的内容与沿革大都记载于历代正史之中而保存至今，延续时间之久为世界所仅见。

（金秋鹏）

## 沈括的十二气历

二十四节气的设置，是中国古代在历法制度中的一项独特创造。它正确地反映了一年四季和寒暑交替的客观规律，对于指导农业生产和手工业生产有着重要的意义。

至迟在公元前 7 世纪的春秋时代，节气的概念即已产生，开始在历法中采用。但由于春秋战国时期的分裂割据，各国历法中所设置的节气没有统一，有用 8 个节气的，也有用 30 个节气的。现行的二十四节气制度，大约是在公元前 3 世纪末期的秦汉之交确定下来的。

二十四节气的设置方法，最初是把太阳的一个回归年长度分成 24 等分，均匀地分布于一年之中。这种方法称为平气法，在传统历法中一直沿用至明代。但是太阳的周年视运动实际上是不均匀的，6 世纪的北齐时，已发现了太阳运动的不均匀性，“日行在春分后则迟，秋分后则速”。于是，从隋代时起，就有人主张用太阳黄道位置来划分节气，即把黄道一周天从冬至开始，分成 24 等分。这样，每个节气太阳所在的位置都是固定的，而各个节气的长度则是不等的。如，冬至前后太阳运动快，一气只有 14 日多；夏至前后太阳运动慢，一气接近 16 日。这种方法称为定气法，它直到清代颁行时宪历时方被采用。今天我们所通用的历法，采用的也是定气法。

在传统的阴阳合历中，以太阳运动设置的节气，与以月亮运动设置的月份，两者关系不固定，存在着不可克服的矛盾。往往出现时令已进入春季，而月份还在冬季，即季节与月份不符的情况，用加闰月的方法是不得已而为之，亦无法消除这个矛盾。为解决这一问题，北宋大科学家沈括大胆革新，创立了十二气历。

十二气历是完全按节气来定历的历法制度。它以 12 个节气定月，即立春为孟春（正月）初一，惊蛰为仲春（二月）初一，等等。大月 31 日，小月 30 日，一般大小月相间，一年最多有一次 2 个小月相连。月亮的圆缺虽与节气无关，但可在历中注明“朔”“望”

这是一种纯太阳历的历法制度，既简单，又便于各种生产活动。但是，在传统力量极为浓厚的古代是不可能被采用的。对此，沈括已经预知，说：“今此历论，尤当取怪怨攻骂，然异时必有用予之说者。”历史的进程亦正如沈括所预见的，他关于十二气历的主张，一直到清代都受到一些人的攻击。而太平天国所用的“天历”，今天行用的公历，其实质都与十二气历相似。本世纪 30 年代，英国气象局用于统计农业气候的“萧伯纳历”，其原理也与十二气历相同。

（金秋鹏）

## 星表

星表是天文学上一种很重要的工具，它是根据观测到的各个恒星的坐标汇编而成。古代的统治者为了标榜其统治是秉承上天的意志，于是把人间的国家机器搬到天上，以帝王将相、政权机构以至他们的用物来命名星座，故星座又称星官。

约公元前 4 世纪的战国时期的天文学家石申，即汇集前人观测结果和自己所测，编制了《石氏星表》。这是中国乃至世界上最早的星表。古希腊最早的星表是天文学家依巴谷测编的，时间是公元前 2 世纪。依巴谷之前的两位希腊天文学家也测量过一些恒星的位置，时间是公元前 3 世纪。

石申将天上的恒星按一定的方法进行了区划。所区划的有包括二十八宿在内的 120 个星官，计 815 颗星，并给出了 121 个标准星（北斗星座取 2 个标准星）的具体赤道坐标值，从而构成了一个完全数量化的成熟的星表。其中，二十八宿距星的坐标值用距度和去极度标示，其他的恒星的坐标值用入宿度和去极度标示。

石氏星表不但创立了星表测制的方式和方法，而且是后世许多天体测量

工作的基础。诸如测量日、月、五星的位置和运动，都要用到其中二十八宿距度的数据。这是中国天文历法中一项重要的基本数据。

石氏星表原收录在石申编著的《天文》（后人尊称为《石氏星经》）一书内，该书已于宋代之后失传，星表幸赖唐时编著的《开元占经》转录，方得保存。但现存的《开元占经》已缺失了其中的六颗星，故星表中仅余 115 颗标准星的坐标值。

石氏之后，历代几乎都测制有星表，惜大多已经佚亡。北宋重修的《灵台秘苑》一书中，收录有皇祐年间（1049—1053 年）测制的星表，内容包括 345 个星官的标准星的入宿度和去极度。这是现存明末之前的星数最多的一份星表，它给人们提供了证认古代星官的直接资料。

古代的天文学家在观测恒星，编制星表时，虽还未能认识到岁差对恒星位置的影响。但在长期不间断的工作中，至迟在唐代时已发现了恒星位置和前人所测有显著的变化。北宋的姚舜辅更提出了恒星位置自古至今一直在变化着，今天的测量只符合今天的“天道”。这在天文学史上是很重要的发现和很有意义的创见。

（金秋鹏）

## 星图

星图是观测恒星的记录，也是查索恒星的工具如同绘制和查索地图一样中国的星图起源可追溯到新石器时代，当时已有陶尊画有太阳纹、月亮纹和星象图案。其后，随着时代的推移，星图也得到不断的发展。古代的星图大致可分为两类。一类是示意性质的，如刻画在建筑物上或绘制在棺槨、墓壁、墓顶之上。此类星图一般比较粗糙简略。另一类星图是天文学家所绘制，比较完整、准确，科学性强。这里介绍的是此类星图，可惜的是唐以前的这类星图已经无存，仅能从文字记载中见其一斑。

据史籍记载，东汉末年的天文学家蔡邕曾绘有一幅星图。其结构大致为：用红色绘 3 个不同直径的同心圆。圆心表示北天极。最内的小圆称内规，代表北纬 55 度余的赤纬圈，圈内的星座对中原地区的观察者来说常年可见，故亦称恒显圈。最外面的大圆叫外规，代表南纬 55 度余的赤纬圈，其以南天区对中原地区的观察者来说常年看不到，故亦叫恒隐圈。中间的一圆代表赤道，“据天地之中”，与南北极等距。图上画有二十八宿以及中外星官。后世的圆形星图都沿袭这一形式，只是星数有所增加而已。

历史上著名的星图有陈卓星图、唐代敦煌星图、宋代苏州石刻天文图等。

陈卓是三国时吴国的太史令，他集前人观测的成果，绘制了一幅星图，图上计有 283 个星座，1464 颗星。这一星座和星数，一直沿用至明代末年。

唐代敦煌星图约绘于 8 世纪初，是现存世界上最早且星数最多的星图。令人遗憾的是，这一宝贵的历史文化遗产于 1907 年被英国考古学家斯坦因窃走，现保存在英国伦敦博物馆。图上绘有 1350 颗星，其画法为：从十二月开始，按每月太阳的位置，分 12 段把赤道带附近的星，用圆筒投影的方法画出，再把恒显圈画在以北极为中心的圆形图上。这种把赤道带附近的星画成横图的方法，起源于隋代，弥补了圆形星图赤道带附近星象绘画不准确的缺陷，是星图绘制方法的重大改进。敦煌星图把横图与圆图结合在一起，更是一大

进步，它开创了近代星图绘制的先声。

石刻天文图现矗立于苏州孔庙里，高约八尺（约 2.53 米，宋代一尺约 31.6 厘米），宽约三尺五寸（约 1.10 米），上部绘一圆形星图，刻有 1434 颗恒星，下部刻有简介天文知识的文字。刻图为南宋王致远于淳祐七年（1247 年）所刻，其底本是宋宁宗赵扩当太子时的老师黄裳于 1190 年前后所画，以为教赵扩学习天文之用。据对星图中星座的位置推算，此星图最初当绘于 11 世纪时。这是现存世界上最古老的石刻全天星图，为极其珍贵的历史文物。

（金秋鹏）

## 步天歌

“白虎时据于参昂，青龙垂尾于氏房。玄龟匿首于女虚，朱鸟奋翼于星张。”

这是晋成公绥《天地赋》中的诗句。其中，白虎、青龙、玄龟、朱鸟指的是西、东、北、南四方，参、昂、氏、房、女、虚、星、张等皆为二十八宿中的称谓。中国历史上诗赋之风盛行，其中不乏吟咏星宿名称之作。如北魏张渊的《观象赋》，隋代李播的《天文大象赋》、敦煌发现的唐初之作《玄象诗》等，都是此类作品。这些作品对传播和普及星象知识，曾起有一定的作用。但这些作品介绍的大都是一些星官的名称，至多也只是介绍少数星官的位置，对认识全天星象的意义不大。

历史上对于天文教育和普及起过重要作用的诗赋之作，首推《丹元子步天歌》（简称为《步天歌》）。它是 7 世纪末唐代的学者王希明所著，也是用诗歌形式介绍全天星象的成功之作。

《步天歌》以七字一句的诗句介绍了陈卓所总结的 283 个星官 1464 颗恒星，内容包括有各星官所在的天区，各星间的相对位置等。歌词简洁、押韵，易于记诵，而且文字生动、形象，并配有星图。人们阅读之时就好像置身天空，沿着众星官，漫游在繁星之间。因此它一经问世，便很快流传开来，成为人们辨认和记忆星官的工具书，后来更成了学天文者的必读书。

《步天歌》把天空分为三垣和二十八宿计三十一个天区，这是中国传统天文学的一大创造，也是中国传统天文学别具一格的特色之一。后人把这种分区方法称为“三垣二十八宿”分区法，一直沿用到近代。

二十八宿分区法，是沿用前人分区方法。即把二十八宿分作四方，每方七宿，与四象相配。东方苍龙，配以角、亢、氏、房、心、尾、箕七宿；西方白虎，配以奎、娄、胃、昂、毕、觜、参七宿；南方朱雀，配以井、鬼、柳、星、张、翼、轸七宿；北方玄武，配以斗、牛、女、虚、危、室、壁七宿。三垣分区法则是《步天歌》所确立。三垣为紫微垣、太微垣、天市垣。紫微垣所在的天区在北极周围，包括恒显圈在内。二十八宿与紫微垣之间空隙较大的天区又分为二垣，星、张、翼、轸等宿以北的天区为太微垣，房、心、尾、箕、斗等宿以北的天区为天市垣。三垣中每垣都有若干颗星作框架，界限出这 3 个天区的范围，就好像围墙一般，故形象地称之为垣。

（金秋鹏）

## 东汉灵台

洛阳是东汉的都城，在其故城南郊有一座巨大的夯土台，这就是当时的国家天文台——灵台的遗址。它始建于光武帝中元元年（公元 56 年），是中国现存最早的天文台遗址，也是世界上最古老的天文台遗址之一。

天文观测需要有一定的场所，要求能保证一览无余地观察到地平线以上全天区的星空，而不受地物（包括房屋、树木等）的遮盖。因此，一般都筑有高台，以便于观测。这种高台，就成了现代天文台的始祖。

中国有着悠久的观测天象的历史，也同样有着构筑天文台的悠久历史。从相传帝尧命羲和“钦若昊天，历象日月星辰，敬授民时”，可推测当时已经有专门的观象场所。自夏王朝建立以后，历代都在首都建筑有国家天文台。天文台的规模一代一代不断发展，观测仪器亦一代一代不断完善和精化。中国历史上在天文历法方面的成就，大多是在这些天文台上取得的。

“灵台杰其高峙，窥天文之秘奥”，这是文人吟咏东汉灵台的诗句，它形象地描绘了灵台的高大，以及其所肩负的职责。关于这座灵台的大小，史书中有两种说法。一说它：高三丈，有十二个门；一说它：高六丈，方二十丈。不管哪种说法是准确的，都可以看到灵台相当高大。

1974 年冬至 1975 年春，考古工作者曾对灵台遗址进行了发掘。发掘中发现，遗址面积达 44000 平方米，东西有夯筑的墙垣，内有一座方形高台，现存残高 8 米多。高台地面下的台基，长宽约 50 米见方。高台的四周又分为上、下两层平台。下层平台周围原有环筑回廊，北面有坡道或踏道以通上层平台。上层平台四面各有 5 间建筑，每间面阔约 5.5 米。东、西、南、北四面建筑残留的墙壁上，分别可见到青色、白色、红色、黑色的色彩残迹，当是按古时分四方为青龙、白虎、朱雀、玄武而涂。这四周房屋，应是观测人员记录、整理、保存天象资料的衙署。高台中心台顶“上平无屋”，为观测天象的场所。

据史书记载，灵台是太史令管辖的机构，全台有 43 人。其中，台丞 1 人，总管全台的工作；14 人候星，2 人候日，3 人候风，12 人候气，3 人候晷景（即测日影），7 人候钟律（掌报时刻）；另有舍人 1 个，负责秘书工作或后勤工作。

如此规模巨大，人员众多，分工细微，组织严密的天文台，在当时世界上是少有的。

东汉灵台之所以闻名于中外，还与东汉杰出的科学家张衡有关。他曾两次出任太史令，在灵台工作了 10 余年。他所发明的水运浑天仪、候风地动仪，都是在这里研制成功，并安装在这里的。

（金秋鹏）

## 周公测景台

在河南省登封县城东南告成镇周公庙的大门上，题刻着一副楹联，写的是“星台留古刹，会合阴阳交风雨；石表寓精心，氤氲南北变暑寒”。这副楹联点明这里往昔是一个现象测景（古代“景”与“影”通用），测定节气，预报气象的天文台。

相传，周文王的第四个儿子周公旦曾定这里为大地的中央，立土圭测日影，以验正四季的节气。唐开元十一年（723年），唐玄宗命太史监南宫说仿周公土圭旧制，建造了纪念性石表，并于表上刻了“周公测景台”5个大字。这座石表现仍矗立在周公庙大殿的南面。圭表是古代测量日影的仪器，可从一年中日影长度最长或最短，测定冬至日或夏至日，这是天文历法中的一项重要工作。

在周公庙大殿北面，有一座观象台，是元代郭守敬所建。这是一座城墙式的建筑，以砖砌为台。台高9.64米，相当于当时的四丈。台基为边长16.7米的正方形。台面为长方形，东西长13.7米，南北宽9.9米，上可放置漏壶和观测仪器。台东西两边设有梯道，可盘旋而上。台上起测日影的表尺作用的，是台身北面正中间所砌的垂直凹槽，顶端置一根直径10厘米（三寸）的铜制横梁，相当于表尺的顶端，与圭面的垂直距离为四丈，即所谓四丈高表。自横梁中轴线沿垂直凹槽下悬四丈长的铅垂线，可以随时校正表尺的高度和圭面的零点。凹槽的下端为石圭的起点，石圭用青石沿南北向平铺于地面上，长31.19米（相当于当时的十二丈）。圭面中线上有尺、寸、分等刻度，中线两侧刻有两条平行的水槽，可用来校正圭面的水平状态。把传统的八尺高表，一丈三尺长的圭，增大为四丈高表，十二丈长的测景仪器的一个重大改进。

但是由于日光的散射，表愈高，顶端横梁的影子就愈模糊，难于在圭面上读得日影的准确读数。为解决这一缺陷，郭守敬发明了景符。景符是安在一个小框架上可以转动的薄铜片，中间开有小孔。当太阳过子午线（即正南北）时，把景符放在圭面上移动，并转动铜片，让过表顶的日光穿过小孔，在圭面上形成一米粒大小的、正中带有一条细而清晰的横梁影子的太阳像投射到圭面的中线上，即可准确读出表影的读数。这一发明，大大提高了测量日影长度的精确度。郭守敬曾利用这高表和其他仪器进行测量，为他编修的《授时历》提供了不少重要的数据，使《授时历》成为清代以前最好的历法。现郭守敬所建的圭表仍基本完好地保存着。

明代时，郭守敬的观象台被称为观星台。在台顶修建了两间小屋，并安装有筒仪、漏刻之类的观测仪器。可惜这些仪器已无存。

南宫说的周公测景台和郭守敬的观象台，使告成周公庙成为现存中国保留较完好的最早天文台。

（金秋鹏）

## 浑仪

浑仪是中国古代用于测量天体球面坐标的观测仪器。它是由一重重的同心圆环构成，整体看起来就像一个圆球。有资料表明，在公元前4世纪中叶，中国就已经使用浑仪观测天象了，比古希腊约早60年。浑仪的最基本构件是四游仪和赤道环。四游仪由窥管和一个双重的圆环组成。窥管是一根中空的管子，类似于近代的天文望远镜，只是没有镜头。双重圆环叫四游环，也叫赤经环，环面上刻有周天度数，可以绕着极轴旋转。窥管夹在四游环上，可以在双环里滑动。转动四游环，并移动窥管的位置，就可以观测任何的天区。赤道环在四游环外，上亦刻有周天度数，固定在与天球赤道平行的平面上。这样，



就可以通过窥管观测到待测量的天区或星座，并得出该天体与北极间的距离，称“去极度”，以及该天体与二十八宿距星的距离，称“入宿度”。去极度和入宿度是表示天体位置的最主要数据。

浑仪的改进和完善，经历了一个由简而繁，而又由繁而简的历程。从汉代到北宋，浑仪的环数不断增加。首先增加的是黄道环，用以观测太阳的位置。接着又增加了地平环和子午环，地平环固定在地平方向，子午环固定在天体的极轴方向。这样，浑仪便形成了二重结构。唐代起，浑仪又发展成三重结构。最外面的一层叫六合仪，由固定在一起的地平环、子午环和外赤道环组成，因东西、南北、上下6个方向叫六合，故名。第二重叫三辰仪，由黄道环、白道环和内赤道环组成，可以绕极轴旋转。其中白道环用以观测月亮的位置。最里层是四游仪。北宋时，又增加有二分环和二至环，即过二分（春分秋分）点和二至（夏至、冬至）点的赤经环。多重环结构的浑仪虽是一杰出的创造在天文学史上也起过重要的作用，但其自身也存在着两大缺陷。一是要把这么多的圆环组装得中心都相重合十分困难，因而易产生中心差，造成观测的偏差。是每个环都会遮蔽一定的天区，环数越多，遮蔽的天区也越大，这就妨碍观测，降低使用效率。为解决这两个缺陷，从北宋起即开始探索浑仪的简化途径。这个浑仪改革的途径由北宋的沈括开辟，元代的郭守敬完成。沈括由两个方面进行改革，一是取消白道环，借助数学方法来推算月亮的位置；一是改变一些环的位置，使遮蔽的天区尽量减少。而郭守敬又取消了黄道环，并把原有的浑仪分为两个独立的仪器，即简仪和立运仪。

简仪由四游仪、赤道环和百刻环组成。赤道环的位置移至旋转轴的南端，这一方式，至今在各国的天文台上安装望远镜时，还广泛地被采用。百刻环的安装是一创新，环上等分成100刻，分为12个时辰，每刻又分作36分。它固定在赤道环内，既可承托赤道环，又可得到真太阳时的读数。四游仪窥管两端各设有十字线，这是后世望远镜中十字丝的肇始。

立运仪与简仪装于同一底座上，由两个圆环组成。一个是平铺的“经纬环”，代表地平环，环面上刻有方位。一个是“立运双环”，中夹有窥管，可测量天体的地平经度和纬度。

简仪和立运仪的设计和制造，在世界上领先300多年。近代天文台的赤道装置，测量仪器经纬仪等，都可从中找到其原始形态。

还应该指出的是，中国古代浑仪采用的是赤道坐标系，比西方采用的黄道坐标系要先进得多，今天已为各国天文台所广泛采用。

现在，人们还可以在南京紫金山天文台，看到明代正统二年到七年（1437—1442）间制造的浑仪和简仪。

（金秋鹏）

## 浑象

浑象是一种表现天体运动的演示仪器。它最初是在公元前2世纪中叶的西汉时，由天文学家耿寿昌创制的，而东汉著名科学家张衡在浑象的发展史上做出了重要的贡献。

浑象的基本构成是一个可以旋转的中空圆球，上面按观测到的实际天象布列星辰。转动圆球，即演示天体的运动，其作用相当于近代的天球仪，堪

称天球仪的始祖。

张衡制造了第一台自动的天文仪器——水运浑象它以一直径五尺（约1.18米，东汉一尺约23.5厘米）的容心铜球表示天球，上面画有二十八宿，中外星官，互成24度交角的黄道和赤道等，黄道上又标明有二十四节气。紧附于天球外的有地平环和子午环等。天体半露于地平环之上，半隐于地平环之下。天轴则支架在子午环上，天球可绕天轴转动。同时，又以漏壶流出的水作动力，通过齿轮系的传动和控制，使浑象每日均匀地绕天轴旋转一周，从而达到自动地、近似正确地演示天象的目的。此外，水运浑象还带动有一个日历，能随着月亮的盈亏演示一个月中日期的推移，相当于一个机械日历。

张衡的水运浑象对后世浑象的制造影响很大，宋代的水运仪象台则达到历史上浑象发展的最高峰。历代制造的浑象大都已经毁亡，现存仅有两架，一架在南京紫金山天文台，一架在北京建国门古观象台，均是清代铸造的。

除了天球仪式的浑象外，中国古代还创制有假天仪式的浑象，开了近代天象仪之先河。

现在北京天文馆里，有一个大圆顶的天象厅。当你坐在里面仰观屋顶，便会感到宛如置身于无涯的苍穹之中，看到繁星点点，其布列与实际天象一致。假天仪的功能和作用即与此相似。假天仪何时发明，现尚有争议，有人认为三国时即已问世。但有明确记载的，则以北宋时苏颂主持制造的浑天象为最早。

浑天象是苏颂主持创制水运仪象台后的又一杰作。它的天球直径有一人多高，在球面上相应于星辰的位置处凿有一个个镂空的小孔，外面的光线漏进后，人坐在球内就好像看到天上闪闪发光的星星。天球亦是由水力机械带动的，可控制其旋转与天体运行同步。与现代天象仪所不同的是，浑天象的光源在外，表演内容比较单一，而天象仪的光源在内，且能表演众多复杂的天象。

（金秋鹏）

## 水运仪象台

1092年，在北宋都城开封的西南部，出现了一座形状奇特的木构建筑物。它就是“元祐浑天仪象”，一般通称之为“水运仪象台”，由当时著名政治家、科学家苏颂所主持创制。这是中国古代最宏伟、最复杂的一座天文仪器，在古代世界上也是绝无仅有的。

水运仪象台的形状呈正方形，上狭下广，高三十五尺六寸五分（约近11.3米，宋代一尺约31.6厘米），底宽二丈一尺（约6.64米）。台分3重，第一、二重安装水力驱动系统和报时系统，第三重安装浑象。台顶平台上安装浑仪，浑仪由“板屋”覆盖，板屋上装有9块可以启闭的活动屋面板。由此可以看到，整座水运仪象台集观测、演示、计时等功能于一体，实际上成了一座小型的天文台。

水力驱动系统包括有提水机构、注水机构、回水机构和枢轮等部分，可以使水周而复始均匀流动，并驱动枢轮运转。枢轮直径十一尺（约3.48米），是全台机械装置的原动轮。其顶部附设有一组杠杆装置，起着控制枢轮定时转动，以及转动固定的距离的作用，相当于近现代机械钟表中的“擒纵器”。

它和欧洲 17 世纪的锚状擒纵器非常相似，堪称擒纵器之始祖。

报时系统的前部建造成半座 5 层木楼阁式建筑的形状。第一层是昼夜钟鼓轮，轮上有 3 个不等高的小木柱，可按时拨动 3 个木人的拨子，拉动木人手臂，一刻钟木人击鼓，时初摇铃，时正敲钟。第二层是昼夜时初正轮，轮边有 24 个司辰木人，随着转子的转动，木人按时在木阁门前出现，表示 1 日 12 个时辰的时初、时正，相当于现今的 24 小时。第三层是报刻司辰轮，轮边有 96 个木人，每一刻出现一人。第四层是夜漏金钲轮，可以拉动木人击钲报更，并可以按季节调整，以适应昼夜长短的变化。第五层是夜漏司辰轮，轮边设有 38 个木人，木人位置可以按节气调整，从日落到日出按更筹排列，依次出现。

浑象为一球体，直径四尺五寸六分（约 1.44 米）。球面上绘有 283 个星座，1464 颗星辰，并绘有银河、黄赤道和二分、二至的位置。浑象下有木柜，使之一半露于柜外，一半隐于柜中。浑象经传动机构与驱动系统相连，可随机轴由东向西转动，和天体的视运动一致，使球面上星辰的位置和实际天象相合。

浑仪亦经由传动机构与驱动系统相连，可随天球转动，以观测天象。这是现代天文台跟踪仪器——转仪钟的先驱。其覆盖的活动屋板，则开了现代天文台自由启闭式屋顶的先河。

整个水运仪象台结构精密、巧妙，标志着中国当时的天文仪器和机械制造的高超水平。现国内外学者已公认它是世界第一座天文钟，并认为是现代天文钟的直接祖先。

（金秋鹏）

## 漏刻

人们在看历史小说时，经常可以看到这样一个时间数值，即午时三刻。如午时三刻推出午门斩首；《天仙配》中，规定七仙女午时三刻返回天庭，否则便违犯天规，等等。那么午时三刻是什么时间呢？

中国历史上的时间计量，是把一日分为十二时辰，一百刻的。十二时辰为子、丑、寅、卯、辰、巳、午、未、申、酉、戌、亥，即以十二地支计时。每个时辰又分为初、正二部分。也就是说相当于一日二十四小时，子时相当于现 23 点到 1 点，子初相当于 23 点，子正相当于 0 点。每个时辰含八刻，余下四刻上、下半天各分二刻。因此，午时三刻实际上相当于午时五刻的时候，即午正的初刻的开始，为今 12 点正。

中国古代是用计时仪器来计时的。计时仪器有多种，有测日影计时的圭表、日晷，有用滴水计时的漏刻，有用燃香计时的香漏，有用漏沙计时的沙漏等，其中以漏刻的发展最为充分。

漏，指漏壶；刻，指箭刻，即标有时间刻度的标尺。也就是由漏壶水面的高低，通过箭刻的刻度来标示时间。

漏刻经历了一个漫长的发展历程。它大约起源于新石器时代晚期，至清代时仍在应用。现保存有从西汉至清代的十余件（套）漏刻遗物。

从史籍记载和现存文物看，漏刻的发展历程大致为由沉箭法到浮箭法，由单壶到多级壶。所谓沉箭法，是使箭刻浮于漏壶的水面上，漏壶里的水慢

慢漏出后，箭刻随之慢慢下降，即可由箭杆上的刻度读出时刻读数。沉箭法用的是单壶，这种方法大约在东汉以前使用。

单壶沉箭法存在有两大缺陷。一是壶中装水有限，漏水持续时间不长，需不断加水才能连续使用，因而造成误差较大，必须经常校准。一是由于水压的作用，水多压力大，漏水快；水少压力小，漏水慢，漏水的不均匀使计时刻度得随之采用不等间距的刻法，因而非常不便，也难于准确。漏刻的改进一直是围绕着解决这两个问题进行的。

最早对单壶沉箭法进行改革的是东汉的张衡。它把单壶改为双壶，让漏壶漏出的水滴入一受水壶中，箭刻浮于受水壶的水面上，受水壶因滴入的水增加，水位上升，箭刻也随之浮升。这种方法称为浮箭法。只要保持漏壶的水量基本不变，便可使滴入水的速度均匀，从而提高计时的准确性。后来，人们又进而把漏壶的数量增加，使成二级漏、三级漏，甚而四级漏，应用最广的是三级漏。多级漏壶按高低一层一层排列，最上一级的漏壶中的水漏入下一级，下一级再顺序漏下。这样，只要让各级的水位固定，最下一级的水位就可保持不变，进而使滴入受水壶的滴水速率固定。

宋代是多级刻漏发展的重要时期，其中燕肃创制于天圣八年（1030年）的莲花漏刻，对漏刻的改进做出了重大的贡献。他采用唐代吕才用虹吸管（渴乌）代替滴水的方法，即用虹吸管把各级壶以至受水壶分段连通，通过虹吸作用，把水一级一级而下，引入受水壶。同时，他发明了分水壶，即在最下一级注水壶的固定水位处开一小孔，用竹筒引入分水壶（减水壶）。这样只要让水略微超过固定水位，多余的水就会漫流入分水壶中，从而保证最下一级注水壶水位高度的稳定。

中国的水计时器——漏刻，在很长的历史时期内一直是世界上最精确的计时器。有人经研究后指出，至迟在约公元前1世纪的西汉中期，中国漏刻的计时精确度就高于14世纪欧洲的机械钟。东汉以后，中国漏刻的日误差，大都在1分钟以内，很多只有20秒左右，而欧洲直到18世纪把直进式擒纵机构应用到机械摆钟上，机械钟的精确度才达到日误差几秒，开始超过漏刻。

（金秋鹏）

## 精确的天文常数

历法的进步是与一些重要的天文常数的精确度分不开的。长期的编历活动，带动了天文观测和推算技艺的发展，使常用的天文常数不断精化；其精确度在世界上居于遥遥领先的地位。这些天文常数是：

朔望月长度通俗地说；朔指新月初起时，即初一零刻；望指月最圆时，通常在十五。从天文学意义上说，朔指由地球中心看，月面中心与日面中心在同一黄道经度上，这时的月亮是看不见的；望指月面中心和日面中心的黄道经度正好相差半个周天，这时日月隔着地球遥遥相对，月亮看起来最圆。连续两次朔或望之间的时间间隔就叫一个朔望月。在公元前5世纪春秋末年开始使用的古四分历中，就测得朔望月长度为 $29\frac{499}{900}$ 日，即29.530851日，与今测值，29.530588相比较，误差仅为十0.000263日，已相当精确。历史上所达到的朔望月最精确值，是北宋姚舜辅于1106年编制纪元历时所采用的

29.530590 日，误差在十 0.000002 日以下。西方 16 世纪末采用的第谷的数值，误差 0.000005 日左右，而祖冲之 463 年编制大明历时，已采用 29.530592 日，误差十 0.000004 日，比第谷领先 1 千多年。

交点月长度所谓交点月，是指月亮相继两次通过同一个黄白交点的时间间隔，是推算日月交食的一个重要数据。祖冲之在大明历中已得到一交点月长度为 27.2122 日，与今测值相较，误差仅 1 秒左右。

回归年长度古四分历已取一回归年长度为  $365\frac{1}{4}$  日，这是当时世界上最精密的数值。古希腊的伽利波斯历与古四分历所取数值相当，但晚约 100 多年。东汉刘洪于 179~184 年间编制乾象历时，定一年为 365.246180 日，祖冲之的大明历更定一年为 365.2428 日，而欧洲直到 16 世纪以前实行的儒略历中，一直都用的是一年 365.25 日。南宋杨忠辅 1199 年编制的统天历，定一年为 365.2425 日，与现国际通用的公历——欧洲的格里高利历一年长度完全一样，而比格里高利历早约 350 年。历史上最精密的回归年长度数值，是 1608 年明末的天文学家邢云路所取得的，为 365.2421928 日，和现代理论推算的精确值，误差只有 2 秒左右，其精度与 1588 年丹麦天文学家第谷所测值相当。

五星会合周期历史上最佳数值是隋代张胄玄于 608 年编制大业历时所取得。其数值分别为，木星 398.882 日，误差 0.002 日；火星 779.926 日，误差 0.011 日；土星 378.090 日，误差 0.002 日，金星 583.922 日，误差小于 0.001 日，水星 115.879 日，误差 0.001 日。

交食周期即日月食重复出现的时间间隔。在天文学史上被推崇的纽康周期，即 358 个朔望月约为 30.5 个交点年，是 19 世纪美国天文学家纽康得到的。而同样的结果，唐代郭献之于 762 年编制五纪历时即已达到。北宋姚舜辅于纪元历中，更采用 4127 个交点月有 324 个食年，食年长度为 346.6199 日的的数据，与理论值仅差 7 秒，是中国历史上得到的最佳交食周期值。

还有许多天文常数，在这里无法一一列举。仅举数例，即可看到中国历史上在这方面成就之巨大。

（金秋鹏）

## 举世无双的天象记录

在历史上，统治者都是相信天命论的。他们认为天是有意志的，天把地上的权力交给帝王，帝王要按照天的意志管理国家。天空的异常天象代表着天的意志，如果帝王治国有方，天空就会有祥瑞的现象出现，表示上天对帝王的嘉许；如果帝王无道或治国不力，天空就会有灾异现象出现，表示上天对帝王的警告或谴责。因此，历代政府都设置有天文台，派专人负责，日夜不停地观测天象，并作记录。于是历代都留下了相当完整的天象记录，汇集在一起，就成了一份长时间跨度的、连续不断的天文资料。这个天文宝库，是世界上独一无二的。现在举世公认，中国历史上的天象记录是最完整、最系统、最丰富的。由于天体的演化过程大多是长期而缓慢的，长期系统的记录对于天文学研究更具有特殊的意义。中国历史上的天象记录已经在现代天文学研究中发挥了重要作用，并将对今后的研究继续发挥作用。

中国历史上的天象记录内容极其丰富，涉及面很广，在这里一一介绍是

不可能的，这里仅举数例，以见一斑。

日月食记录在商代的甲骨文上，就已经有日月食的记录。其中，公元前1311年11月23日的月食，公元前1217年5月26日的日食，是人类历史上关于日月食的最早可靠记录。仅先秦古籍《春秋》一书，就记载了由公元前770年到公元前476年的244年中的37次日食。从3世纪起的日食记录，从5世纪起的月食记录，都一直继续到近代，达1500多年到1700多年之久。这些记录，使中国成为取得交食周期最早、准确性最高的国家，在日月食的预报方面，也在古代世界中居于领先水平。

太阳黑子记录世界公认的最早的太阳黑子记录，是《汉书·五行志》记载的，西汉河平元年（公元前28年）三月己未，“日出黄，有黑气大如钱，居日中央。”实际上在此之前的甲骨文和古籍中，就已有黑子记录。传说中的日中有三只脚的乌鸦，可能是更早就已观察到黑子的反映。欧洲发现黑子的最早记录是807年8月19日，当时还被误认为是水星凌日，直至1610年意大利物理学家伽利略才用望远镜观测到太阳黑子。天文工作者曾统计从公元前43年到1638年的黑子记录，计106条，并计算出黑子盛衰周期为10.6±0.43年，还存在62年和250年的长周期，与现代天文学的结论相符。

极光记录历史上有不少的极光记录，从中可以看到，太阳黑子出现最多的年月，也是极光出现最频繁的时期，反映了极光与黑子有着密切的关系。天文工作者从历史上的极光记录中，得出极光与黑子一样，存在着约11年的周期，与现代天文学的结论相符。

彗星记录中国1910年以前的彗星记录，不少于500次。其中以哈雷彗星的记录最为著名。《春秋》一书中记载的：“鲁文公十四年（公元前613年）秋七月，有星孛入于北斗。”是世界上最早的哈雷彗星记录。哈雷彗星绕太阳运行的平均周期是76年，从春秋战国到清末，共出现并记录的有31次。历史上的这些彗星记录，已受到各国天文学家的重视。不少天文学家都以中国的彗星记录为依据，开展关于彗星的研究，并取得可喜的成果。

其他如流星雨、超新星等的记录，也都受到各国天文学家的关注。

（金秋鹏）

## 天地起源和演化思想

“天地浑沌如鸡子，盘古生其中。万八千岁，天地开辟，阳清为天，阴浊为地。盘古在其中，一日九变，神于天，圣于地。天日高一丈，地日厚一丈，盘古日长一丈。如此万八千岁，天数极高，地数极深，盘古极长。故天去地九万里。”

这是历史上一则关于盘古开天辟地神话传说的记述。这则记述虽带有浓厚的想象和臆测的成分，但它却体现着远古先民对天地起源的一种看法。其中包含有：天地是演化而成的，它有个起始点，早期是浑沌的，演化过程是由“无序”（浑沌）到“有序”（清、浊分列），由小到大不断扩展的等思想。

在盘古开天辟地传说之外，企图以理性的方式创立宇宙起源理论的有先秦思想家老子。他提出：“天下万物生于有，有生于无。”而由无生有则是通过“道”。“道生一，一生二，二生三，三生万物。”什么是“道”呢？

老子说：“有物混成，先天地生。寂兮寥兮，独立而不改，周行而不殆，可以为天地之母。吾不知其名，强字之曰道。” 后人把“道”称之为“浑沦”、“太极”、“太一”、“玄”等的，并发展了天地生成和演化的学说。

汉时著作《易纬·乾凿度》中，提出“道”为气、形、质已经存在，但还没有分离的浑沌状态。同时，又分“气之始”为“太初”，“形之始”为“太始”，“质之始”为“太素”，并把气出现之前的寂然无物状态称为“太易”，相当于老子的“无”。东汉的张衡更把“道”分为“道根”、“道干”、“道实”他在《灵宪》中说，“道根”乃处于“幽精玄静，寂漠冥默，不可为象。厥中惟虚，厥外为无”的阶段，“道干”乃处于“自无生有，太素始萌，萌而未兆，并气同色，浑沌不分”的阶段，“道实”乃处于“有物成体”，“于是元气剖判，刚柔始分，清浊异位，天成于外，地定于内”，“（天）动以行施，（地）静以合化，堙郁构精，时育庶类”的阶段。也就是说，我们所处的宇宙经历了一个“自无生有”，到“有物成体”，以至天地分离、化育万物的演化过程。

令人惊奇的是，这一天地生成和演化学说与现代宇宙学中的热爆炸理论（又称宇宙膨胀学说）十分相似。现把二者列表比较如下：

	热爆炸理论	易纬·乾凿度	灵宪
1	奇点期(10 <sup>-44</sup> 秒):只有空间和时间,没有物质	太 易	道 根
2	极早期(10 <sup>-36</sup> 秒):形成重子	太 初	道 干
3	早期(10 <sup>-12</sup> 秒):氦、氘、锂等元素开始形成。	太 始	
4	现期(10 <sup>-4</sup> 秒):星系胚(气状星云)开始形成	太 素	
5	将来期:从天地万物出现到今后		道 实

热爆炸理论是当代宇宙科学的热门课题，这种相似性使中国古代的天地生成和演化思想重新受到了人们的重视，也使人们惊叹中国历史上科学思想之博大精深。当然，中国古代的天地生成和演化思想仅是一种思辨性的思想，与现代的热爆炸理论有着本质上的区别。

（金秋鹏）

### 朱熹的天地起源学说

在传统的元气学说中，天地万物皆是由气所构成，这一思想起源于先秦，后历代皆有所发展。但对其如何形成天地，则大都没有论及。南宋的大理学家朱熹在继承前人的思想的基础上，提出了以地为中心的天地生成过程的假说，在天地起源学说方面独树一帜。

朱熹提出的天地生成假说是：“天地初间，只是阴阳之气。这一箇气运行，磨来磨去，磨得急了，便拶许多渣滓。里面无处出，便结成个地在中央。气之清者，便为天，为日月，为星辰，只在外常周环运转。地便只在中央不

动，不是在下。”他还特别强调了天周环运转的作用，说：“天运不息，昼夜辗转，故地樞在中间。使天有一息之停，则地须陷下。”在这里，朱熹把气如何聚集而成天地的机制具体化，而且指出了摩擦、碰撞和离心力对于天地生成的意义这一学说还摒弃了传统浑天说中赖以承托天地水，是对浑天说的重大修正。

令人感兴趣的是，这一学说与18世纪出现的，J云假设有着许多相似之处。星云假设认为，形成。、\阳系的星云是气态的。这团星云成球状分布，中。Z.密度较大，整个星云在缓慢地转动着，而且温度1'高。由于冷却，引起星云收缩，进而使转动速度增加，离心力加大。在离心力作用下，周围形成一个一个旋转着的气体团。分离过程一次次重演，最]；中心部分收缩成为太阳，周围各个气体团形成行一一42星云学说已成为现代天体物理学的一种重要学说。

值得特别指出的是，在中国古代的宇宙理论中除宣夜说外，不管是盖天说、浑天说、扩展的天“演化理论，还是朱嘉的天地观，都是有限的宇宙观，套用现代天文学术语来说，它们所论及的仅是太阳系以至银云星系。到元明时期，已经有人突破这些传统理论，提出了天地之外复有天地的思想。

元代邓牧在《伯牙琴·超然观记》中说：“天地大也，其在虚空中不过一粟耳。虚空，木也，天地犹果也；虚空，国也，天地犹人也。一木所生，必非一果；一国所生，必非一人。谓天地之外无夏天地，岂通论耶？”

元代另一著作《琅环记》说：“人物无穷，天地亦无穷也。譬如蛔居人腹，不知是人之外更有人也；人在天地腹，不知天地之外更有天地也。”

明代《蒙龙子》一书中更指出：“或问天地有始乎？曰：无始也。天地无始乎？曰：有始也。”“自一元而言，有始也；自元元而言，无始也。”其中，“一元”指一个星系，“元元”指无数个星系。

这些论述，精辟地阐明了宇宙既是有限的，又是无限的，无限的宇宙是由一个个以至无穷的有限宇宙所构成。这些思想，已为现代天文学所证实。

(金秋鹏)

## 别具一格的宇宙结构理论

在古代神话传说中，有这样一则故事，说炎帝的后裔共工与黄帝的后裔颛顼为争夺帝位，而发生了争斗。共工在盛怒之下，撞倒了位于西北方的天柱不周山，造成了天柱折断，维系大地的枢纽断绝，因而天向西北倾斜，地向东南倾斜。这样，天上的日月星辰都朝西北方向运行，地上的水流泥沙都向东南方向流动。故事中虽带有荒诞的成分，但却反映了人们从观察到的天体由东南向西北运动，河流由西北向东南流动的现象出发，探讨宇宙结构的意向。

在中国古代，关于宇宙结构的学说有很多，但较为系统，影响较大的则是盖天、浑天、宣夜三家，被称为“言天三家”。这些学说与古代西方的相应理论相较，各具特色，各有其自身的合理性和缺陷。

盖天说的起源可追溯到商周之际，其自身有一个发展的过程。开始时，它主张：“天圆如张盖，地方如棋局”，这就是天圆地方传统观念的来源。后来，它演变为“天象盖笠，地法覆盘”，将平直的大地变为拱形。该学说



的要点是，天在上，地在下，日月星辰均附着在天上平转，不会转到地下去；太阳的出没是由于它离人有远有近的缘故，离人远时，为人目力所不及，表现为日没，离人近时，为人所见，表现为日出；太阳位置的四季变化，是由于太阳运行的轨道四季不同所造成。成书于西汉时期的《周髀算经》一书，是盖天说的代表作。书中应用勾股定理和复杂的数学运算，赋予盖天说以数学化的形浑天说起源于春秋战国时期，东汉的张衡是其集大成者。张衡在其《浑仪注》中提出：“浑天如鸡子，天体圆如弹丸，地如鸡（子）中黄，孤居于内，天大而地小，天表里有水，天之包地，犹壳之裹黄。天地各乘气而立，载水而浮。”其要点是，天地均为圆球形，天包地，日月星辰附于天球之上，天球以南北极为轴，每日自东向西绕地球旋转一周，北极出地平的高度为36度，太阳沿黄道运行，黄道与天球赤道成24度交角等。张衡在他的另一著作《灵宪》中又提出，浑圆的天体并不是宇宙的境界，“宇之表无极，宙之端无穷”，表达了宇宙无限观念。后来，南宋时的朱熹等人以“气”代替了张衡认定的“水”，使浑天说的理论得到改善。由于浑天说对于太阳东升西落，太阳位置的四季变化，星辰半现于地上、半隐于地下，四季昼夜的长短变化等现象，都提供了较完满的解释，并且又有浑象以演示浑天说，因而使它成为历史上影响最大的学说。

宣夜说也起源于春秋战国时期，东汉时由天文学家郗萌进行了总结。宣夜说认为，“天了无质，仰而瞻之，高远无极”，即天是无形、无体、无色、无边无际的广袤空间，人眼所见的浑圆蓝天是一种错觉，正如“旁望远道之黄山而皆青，俯察千仞之谷而窈黑”一样，实际上“青非真色，而黑非有体也”；日月星辰的分布和运动随其自然，依各自的特性，在“气”的作用下，于空中悬浮和运动，而不附着在有形质的“天壳”之上。宣夜说为人们描绘了一幅日月众星在无限空间中运动的壮阔图景，在人类认识宇宙的历史上有着重要的意义。但它仅停留在思辩性的认识水平上，没能对天体运动规律进行具体的论述，故其影响没有浑天说大。

（金秋鹏）

## 墨子的时空理论

在中国历史上，有不少人探索过时空理论，其中以墨子的学说最为精辟，也最有意义。在墨子看来，自然界是一个统一的整体，个体或局部都是这个统一的整体中分出来的，都是统一体中的一个组成部分。他定义整体为“兼”，定义个体或局部为“体”，说“体，分于兼也。”部分由整体所分出，整体包含着部分，因而部分就不会是孤立存在的，而是与整体有着密不可分的有机联系，这也就构成了墨子的连续宇宙观。由此出发，墨子进而建立了关于时间和空间的理论。

首先，墨子给出了时间和空间的定义：“久，弥异时也”，“久。合古今旦莫”；“宇，弥异所也”，“宇。东西家南北”。这里，“久”是时间，“宇”是空间，“莫”即“暮”，古人以家为中，“家”表示中。也就是说，“久”，弥漫了一切不同时间，包括了古今旦暮。“宇”，弥漫了一切不同的场所，包括了东西中南北。在中国历史上，墨子是最早提出时间和空间的定义的，而且这定义具有一定的科学性和完整性，并包含有时、空无限的思

想。

对于时间和空间是有限还是无限的问题，墨子也有精辟的思想和论述。

他说：“久，有穷，无穷”。也就是说，时间既是有穷的，也是无穷的。对于整体来说，时间是无穷的；对于部分而言，则时间是有穷的。从时间有穷无穷的思想出发，墨子进而提出了时间的起点问题，说、“始，当时也”，“始。时，或有久，或无久。始，当无久”。也就是说，“始”是一个时间段之起点，表示初值此时间，而又未入于此时间，不占有时间（无久）。每一个时间段都可以再分为更小的时间段，而每个更小的时间段又都有“始”，至不可再分，就仅余“始”。因此，也可以说“始”是时间中最小的单位，即时间元，无限的时间便是由无限的时间元“始”所构成。

在空间问题上，墨子的认识是与时间的认识相一致的。他认为空间也是有穷无穷的矛盾统一体，对于整个空间来说是无穷的，无穷的空间又是由无数有穷的区域构成。他又创立了称为“端”的概念，作为不能再分的最小空间单位，即空间元，无限的空间是由无数的空间元“端”所构成。

墨子还把空间、时间与物体运动统一起来，他指出物体的运动表现为在空间和时间中的迁徙，体现着远近、先后的差异。

墨子所创立的这一无限中包含有限，连续中包含不连续的时空理论，以及空间、时间与物体运动的统一，与现代科学中的时空观和运动学的认识是一致的。

（金秋鹏）

## 十进位值制记数法

十进位值制记数法包含“十进制”和“位值制”两种记数方法。所谓“十进制”，就是每数满 10 就进一个单位，如 10 个 1 进为 10，10 个 10 进为 100，10 个 100 进为 1000，等等。“位值制”，就是一个数中各位上的数码表示什么数，要由它所在的位置而定。如 12 中的 2 放在个位上，就表示 2，而 21 中的 2 放在十位上，就表示 20。这种既是十进制，又按位置表示不同单位的记数方法，就叫做十进位值制记数方法。用这种方法，不论什么自然数都可以毫不费力的表示出来。

中国历史上，有着“隶首作数”、“结绳记事”的传说。“结绳记事”，是用于绳子上打结的办法来记事表数，事（或数）大用大绳，事（或数）小用小绳，绳子上打的结的多少则表示事（或数）的多少。这反映了远古时人民的记录方法。后来又进一步出现了“书契”，就是用刀在竹木或石头上刻痕来记数。

大概是因为人有 10 个手指头，常常用掰手指头来数数和进行简单的计算，逐渐形成了 10 个数的概念，进而出现了十进的记数方法。

根据对出土的甲骨文和钟鼎文的考证，中国在殷商时代就已经采用了十进位值制的记数法，至迟在春秋时期就已经能够熟练地运用十进位值制记数法来记数和进行四则运算了。

十进位值制记数法，是中国古代在数学领域的一个重大发明。在世界数学史上，有许多民族在开初并没有位值制。如罗马数字就是如此，它只有 7 个基本符号：1 5 10 50 100 500 1000 I V X L C D M 如 22 记作 XXII，前

后两个 X，位置不同，都表示 10，前后两个 I，位置不同，都表示 1。若要表示较大的数，书写更繁。古埃及的记数法也是如此，每个较高的单位都是用特殊的符号表示的，特殊符号就是古埃及的象形文字。古希腊，则要用 27 个字母相互配合，才能表示出 1000 以内的数目。古代美洲玛雅人、古巴比伦人虽也都知道用位值制，但他们却分别采用的是 20、60 进制。而印度，直到 6 世纪末，才真正开始使用十进位值制记数法。

由此可见，十进位值制记数法是古代世界上最先进的记数方法，并在历史发展的长河中，为各国所先后采用。它对于人类文明的发展有着十分深刻的影响，正如英国李约瑟博士指出的：“如果没有这种十进制制，就几乎不可能出现我们现在这个统一化的世界了。”

（赵澄秋）

### 算筹与筹算

在古代，世界上许多民族曾经使用过各种不同的计算工具。如巴比伦人用一块泥板，在上面刻字；埃及人用一种水草叶子，在上面写字；印度人和阿拉伯人用的是沙盘，或是在地上用小木棍进行“笔算”。而中国古代人民却是用“算筹”作为计算工具。

“算筹”是一种粗细相同、长短一致的小棍子。中国古代的数学家，就用这种棍子摆成不同的行列，表示不同的数目，以及进行各种运算。这种用“算筹”来进行的计算，叫做“筹算”。算筹起初是用竹子做的，后来也用木、铁、铜、牙、玉作材料制作。其形状有圆的，也有方的或三角的。它的大小，长短各代不同。汉代规定它长三寸（约 6.9 厘米）或六寸（约 13.9 厘米），直径一分（约 2.3 毫米）；南北朝时，规定它长 4 寸（约 10 厘米），每边三分（约 0.7 厘米）；隋代，它长三寸（约 8.9 厘米），宽 2 分（约 6 毫米）。算筹还可用来表示负数，即用不同的形状颜色或排法来区分正负数。三国时表示正负数有两种方法，用一色时，正排表正数，斜排表负数，若用两色，则正筹赤色，负筹黑色。隋代时，表示正数的用三角柱状，表示负数的用正方柱状；宋代数学家秦九韶用正赤、负黑来分别，而杨辉则是凡负数的末位都加一斜划。

用算筹表示数字有纵式、横式两种形式：

算筹的计算法不仅采用十进制，而且严格按位置分别表示不同的单位。大约成书于 3 世纪的《孙子算经》中说：“凡算之法，先识其位。一纵十横（个位摆纵式，十位摆横式），百立千僵（百位摆纵式，千位摆横式），千十相望（千位和十位相同），

万百相当（万位和百位相同）。”例如：中国古代数学家就是利用这种算筹进行加、减、乘、除、开方等各种运算的。

算筹至迟在公元前 4 世纪以前已经问世，战国时已经普遍使用。算筹在中国使用了 2000 多年，直到 15 世纪算盘推广以后，才逐渐被取代。然而，与算筹有关的语汇却保留至今，如“筹画”、“筹划”、“筹策”、“运筹策帷幄之中，决胜于千里之外”等，可见，算筹的创造在中国科学文化史上

所起的作用是何等之大。

(赵澄秋)

### 不定方程

中国古代流传着“韩信点兵”的故事。据说，韩信点兵，既不用报数，又无需查点，他是利用变换队形，再通过计算而得出士兵总数的。即按每列3人排成3行，记下排尾最后一列人数（可能3人、也可能1人或2人）；按每列5人排成5行，再按每列7人排成7行，分别记下排尾最后一列人数。根据3次排法和记得的3个数，就可以算出全队人数。究竟韩信是不是这样点兵，已经无从考查，而这种点兵比“报数”法更麻烦是显然的。但这问题归到数学上，就是个“物不知数”问题。

“物不知数”的问题，是由大约成书于1世纪至3世纪之间的《孙子算经》中提出的，故也叫“孙子问题”。书中有一道题，说：“今有物，不知其数。三三数之，剩二；五五数之，剩三；七七数之，剩二问物几何？”其大意是，有一批物品，不知多少件每三件一数，剩二件；每五件一数，剩三件，每七件一数，剩二件。问这批物品共有多少件？后来人们就把这则问题称为“韩信点兵”法。用现代列方程组的方法，可解上题。设每3、5、7件一数分别数了x、y、z次则有

$$\begin{cases} 3x + 2 = 5y + 3 \\ 5y + 3 = 7z + 2 \end{cases}$$

这是一道3个未知数，只有2个方程的方程组，它有无定解，数学上就把它称之为不定方程。

中国古代对不定方程早有研究。《九章算术》中的“五家共井”题，就是一个突出的例子。其大意：五户人家共用一口井，若用甲家的绳2条、乙家的绳1条接长，从井口放下，正好抵达水面；又用乙家3条、丙家1条，或用丙家4条、丁家1条，或用丁家5条、戊家1条，或用戊家6条、甲家1条接长，也都一样正好抵达水面，问井深和各家的绳长各多少？

用现代方法，设井深为l长度单位，甲、乙、丙、丁、戊各家绳长分别为x、y、z、p、q长度单位，那么依题意得方程组：

$$\begin{cases} l = 2x + y & (1) \\ l = 3y + z & (2) \\ l = 4z + p & (3) \\ l = 5p + q & (4) \\ l = 6q + x & (5) \end{cases}$$

这个方程组是由6个未知数和5个方程构成的六元一次不定方程组。

这是世界上最早的一个不定方程组。这说明中国早在1世纪以前就对不定方程有研究了。这以后，数学家继续对此问题进行探讨，其中最著名的是5世纪《张邱建算经》上记载的“百鸡问题”：“公鸡一只值五个钱，母鸡一只值三个钱，小鸡三只值一个钱，今有一百个钱，买鸡一百只，问公鸡、母鸡，小鸡各买几只？”该题有3组很完善的答案：

公鸡：4 8 12  
母鸡：18 11 4  
小鸡：78 81 84

说明当时中国解不定方程已达到相当高的水平。

在西方，最早研究不定方程的人，要数 3 世纪的希腊数学家丢番都。他是巴比伦人，是西方代数学的鼻祖。他在解不定方程时，用的都是特殊方法，很少给出一般法则，这是个很大的缺陷。正因为如此，人们至今仍把只求整数解的整系数不定方程，称为“丢番都方程”。其实我国提出不定方程的问题，要比他早 200 多年。1852 年，英国传教士伟烈亚力将中国“物不知数”问题的解法传入欧洲，引起了数学界的重视。

(赵澄秋)

### 圆周率

《九章算术》中的《方田》章有这样一个问题：“今有圆田，周三十步，径十步，问有田几何？”从圆周 30 步与直径 10 步的关系看来，圆周率取的是 3，这是中国最早采用的圆周率数值，即所谓的“周三径一”。这一数据在计算圆周长和圆面积时，误差甚大。汉代的一些数学家虽已发现了这一问题，并在实际应用时取用多种圆周率数值，如王莽时刘歆作标准量器“律嘉量斛”时用 3.154，东汉时张衡采用  $\sqrt{10}$  或  $\frac{92}{29}$ ，即相当于 3.162 和 3.1724，三国时期吴国天文、数学家王蕃用  $\frac{142}{45}$  或 3.1555，但他们都没有提出推算圆周率的理论依据和方法。

中国历史上最先创立求圆周率理论和推算方法的，是活动于三国时魏国和西晋初期的数学家刘徽。他在总结过去的数学运算时，发现“周三径一”的数据实际上是圆内接正六边形周长和直径的比值，不是圆周与直径的比值，用这数据计算的结果是圆内接正十二边形的面积，不是圆的面积。他认为当圆内接正多边形边数无限增加时，其周长即愈益逼近圆周长，“割之弥细，所失弥小。割之又割，以至于不可割，则与圆合体而无所失矣。”也就是说，圆内接正多边形边数无限多时，其周长的极限即为圆周长，面积的极限即为圆面积。在这一思想指导下，刘徽创立了割圆术，为计算圆周率和圆面积，建立了严密的方法，开创中国圆周率研究的新纪元。从这里我们可以看到，刘徽已经把极限的概念运用于解决实际数学问题之中，这在世界数学史上也是一项重大的成就。

刘徽从圆内接正六边形算起，边数逐步加倍，一直算到圆内接正 192 边形的面积，算得了 近似于 3.14 的数值，另一个近似值。  $= \frac{3927}{1250}$  (相当于 3.1416) 可能也是刘徽算得的。这个结果是当时世界上的最佳数据。最早提出当边数无限增多时，圆内接正多边形的面积趋于圆面积的，是公元前 5 世纪希腊数学家安提丰，但他没有利用它来计算圆周率的近似值。后来阿基米德提出，圆周长介于圆内接多边形周长与圆外切多边形周长之间，算出

了  $3\frac{10}{71} < \pi < 3\frac{1}{7}$  的数值。但阿基米得是用归谬法证得这一结果的。他避开了无穷小和极限。而刘徽却应用了极限的概念，并且在方法上仅需用圆内接正多边形的面积，不必计算圆外切正多边形的面积，大大简化计算的过程，并得到相当精确的数值，收得事半功倍之效。

南北朝时的著名科学家祖冲之更把圆周率的计算推到了古代世界数学的高峰。他在刘徽的基础上继续推算，求出了精确到第七位有效数字的圆周率： $3.1415926 < \pi < 3.1415927$ 。这一结果，相当于需要对九位数字的大数目进行各种运算（包括开方）130 次以上，又是用算筹进行计算的，实是十分不易的。祖冲之还求出用分数表示的两个圆周率数值，即密率  $\frac{355}{113}$ ，约率  $\frac{22}{7}$ 。密率是分子、分母在 1000 以内表示圆周率的最佳渐近分数。

祖冲之所求得的圆周率数值，远远走在当时世界的前列。直到 1000 年后，15 世纪的阿拉伯数学家阿尔·卡西和 16 世纪法国的数学家维叶特，才求得更精确的数值。而对于密率和约率，在欧洲也是 16 世纪方得出的。

（赵澄秋）

## 级数与垛积术

所谓垛积术就是高阶等差级数的求和的问题。中国古代很早就注意级数问题，并不断有人进行研究，形成了自成体系的求解方法。

在著名古算书《九章算术》中，有这样一个问题：

“问：今有金篋（音 Chuí，拐杖），长五尺。斩本一尺，重四斤，斩末一尺，重二斤。问次一尺各重几何？”

答曰：末一尺，重二斤；次一尺，重二斤八两；次一尺，重三斤；次一尺，重三斤八两；次一尺，重四斤。”

这是一个关于等差级数的问题，反映了在西汉之前，中国已经提出这类问题，并有了相应的解题方法。在 5 世纪成书的《张邱建算经》中，更把解等差级数问题的方法加以总结，给出了公式。用现代数学的表达方式，这个公式为：

宋元时期，关于等差级数求和问题的研究被推进到一个新的阶段，创立了高阶等差级数的求和公式，取得了辉煌的成就。所谓高阶等差级数，指的是这样一种级数，它的逐项差数并不相等，但它的 逐项差数的差数却是相等的。

首先对高阶等差级数进行研究的是北宋科学家沈括，他创立了关于高阶等差级数的求和公式。用这一公式，可以求解任何堆积物体的体积问题。

南宋的数学家杨辉在沈括的基础上，对高阶等差级数的求和问题作了进一步的研究，得出了求解方锥、方垛、三角垛等的求和公式。

到了元代，郭守敬在编制《授时历》时，创立了招差法，即利用高阶等差级数方面的知识来解决天文计算中的高次内插问题。招差法是中国数学史上具有世界意义的伟大成就。《授时历》中，用招差法来推算太阳逐日运行的速度以及它在黄道上的经度，还用来推算月球在近点月逐日运行的速度和位置，大大提高了历法的精确度。

元末的数学家朱世杰则集前人关于等差级数求和研究之大成，并把其推广到更为复杂的求和问题，给出了较为系统和普遍的解法。他创立的招差术，已经有可能正确地写出任意高次的招差公式来。在欧洲，首先对招差术加以说明的，是格列高里在 1670 年提出的。关于招差术的普遍公式，是牛顿于 1676 年和 1678 年先后提出的。单以朱世杰创立的招差术和欧洲数学家提出的招差术相比，中国的数学家也领先了 300 多年。

(赵澄秋)

### 贾宪三角

我们先来做一个数学游戏：如果给你 4 个 1，用这 4 个 1，运用加、减、乘、除、乘方，能写出的最大数是多少？是  $1+1+1+1$  吗？是  $1 \times 1 \times 1 \times 1$  吗？是 1111 吗？是  $11 \times 11$  吗？都不是，而是 11，即 11 的 11 次方，也就是用 11 个 11 连续相乘，这是个很枯燥麻烦的过程。那么，能不能用一个简便的方法把这个数算出来呢？这个问题如果用杨辉三角来计算就简单多了，那就需要熟悉杨辉三角。

所谓杨辉三角，实际就是一个二项展开式系数表。下面我们就来考察一下杨辉三角。我们知道，

$$(a+b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$$

$$(a+b)^3 = a^3 + 3a^2b + 3ab^2 + b^3$$

是 7 个乘法公式中的两个，如果我们在它们上面补充  $(a+b)^1 = a+b$ ， $(a+b)^0 = 1$ ，在它下面再补上 3 个： $(a+b)^4$ ， $(a+b)^5$ ， $(a+b)^6$ ，则得出如下一组二项式的展开式：

$$(a+b)^0 = 1$$

$$(a+b)^1 = a + b$$

$$(a+b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$$

$$(a+b)^3 = a^3 + 3a^2b + 3ab^2 + b^3$$

$$(a+b)^4 = a^4 + 4a^3b + 6a^2b^2 + 4ab^3 + b^4$$

$$(a+b)^5 = a^5 + 5a^4b + 10a^3b^2 + 10a^2b^3 + 5ab^4 + b^5$$

$$(a+b)^6 = a^6 + 6a^5b + 15a^4b^2 + 20a^3b^3 + 15a^2b^4 + 6ab^5 + b^6$$

把这 7 个展开式的系数排列起来，就得到一个二项展开式系数表：

$$\begin{array}{c}
 1 \\
 1 \quad 1 \\
 1 \quad 2 \quad 1 \\
 1 \quad 3 \quad 3 \quad 1 \\
 1 \quad 4 \quad 6 \quad 4 \quad 1 \\
 1 \quad 5 \quad 10 \quad 10 \quad 5 \quad 1 \\
 1 \quad 6 \quad 15 \quad 20 \quad 15 \quad 6 \quad 1
 \end{array}$$

这是个由数字组成的三角形数表，我们可以很直观地看出它有几个特点：

第一，除第一行外，每行两端都是 1，除 1 外，每个数都等于肩上两个数之和。

第二，每一横行的各个数都表示着  $(a+b)^n$  展开式中各项的系数，其中  $n$  等于行数减 1，如第 5 行就表示  $(a+b)^{5-1}$  的展开式中的系数。

第三，由前面两个特点，可以用此表求出  $n = 8, 9, \dots$  时二项展开式各项的系数。

总之，这个表不但给出了二项展开式的系数，而且还给出了求这些系数的方法。

这个表最早见于南宋数学家杨辉 1261 年所著的《详解九章算法》一书中。因此，在以往的数学著作中，通常把这个表叫做“杨辉三角”。但是，杨辉在自己的著作中，除了详细介绍了这个表的构造、用法外，并明确指出，此表“出《释锁》算书，贾宪用此术”。“释锁”即开方，或解数字方程。事实上，北宋杰出的数学家贾宪在 1023 ~ 1050 年间所著的《黄帝九章算法细草》中，就已经得出了这个三角形数表，并定名为“开方作法本源”图。因此，这个三角形数表叫“杨辉三角”不如叫做“贾宪三角”更为确切。

对于此表，中亚细亚数学家阿尔·卡西在 1427 年于所著《算术之钥》一书中，也有过记载。在西方，法国数学家帕斯卡于 1653 年首先发现它，所以在西方数学史界，一般称此表为“帕斯卡三角”。但是帕斯卡发现此表的时间比贾宪晚了 600 多年，应该叫贾宪三角才对。

知道了贾宪三角的基本情况和以上所说的它的一些特点后，我们可以回到本文的开头，去用简便的方法计算  $11^{11}$  的结果了。

先计算  $11^0 = 1$ ， $11^1 = 11$ ， $11^2 = 121$ ， $11^3 = 1331$ ， $11^4 = 14641$ 。我们把这些计算结果排列成表后，发现它正好与贾宪三角的前 5 行相同，事实上， $11^n = (10 + 1)^n$ ，按贾宪三角的规律，当  $n = 12$  时，列出表 0

1												1											
2												1	1										
3												1	2	1									
4												1	3	3	1								
5												1	4	6	4	1							
6												1	5	10	10	5	1						
7												1	7	21	35	35	21	7	1				
8												1	8	28	56	70	56	28	8	1			
9												1	9	36	84	126	126	84	36	9	1		
10												1	10	45	120	210	252	210	120	45	10	1	
11												1	11	5	165	330	462	462	330	165	55	11	1

利用此表，我们先来计算  $11^3$ ，只要将序号 3 所对的一行的各个数依次迭加起来，

$$\begin{array}{r} 1 \\ 3 \\ 3 \\ +)1 \\ \hline 1331 \end{array}$$

就得到  $11^3 = 1331$ 。依此方法顺推，就可以很简便地计算出  $11^{11} = 285311670611$ 。



贾宪三角除了以上所说的特点之外，还可以再举出另一些特点和作用。如可直观地看出二项展开式的项数、系数和幂指数之间的关系

1.  $(a+b)^n$  的展开式共有  $(n+1)$  项。如  $(a+b)^3$  展开式有 4 项， $(a+b)^4$  的展开式有 5 项等等。

2. 在二项展开式中，与首末两端“等距离”的两项系数相等。如  $(a+b)^n$  展开式中，首末两项系数都是 1，中间两项系数都是 3，等等。

3. 二项式的幂指数若是偶数，中间一项的系数最大；若是奇数，中间两项系数相同且最大。

其次，还有许多有趣的排列规律。例如，第  $(n+1)$  行各数之和，即  $(a+b)^n$  展开式各项系数的和，均等于  $2^n$ 。如第四行各数之和： $1+3+3+1=8=2^3$ ；第六行各数之和： $1+5+10+10+5+1=32=2^5$  等等。

正因为它蕴含着丰富的数学性质，所以“贾宪角”能流传至今，且仍然受到人们的重视。

(赵澄秋)

## 天元术

一元二次方程： $3600x^2 + 120x + 1=0$  是我们非常熟悉的，而对于图表示什么？我们就不太清楚了，其实，它们是一回事它是中国古代  $3600x^2 + 120x + 1=0$

用算筹的排列方法。

列方程的方法是我们熟知的。即利用问题中给出的已知条件和未知条件之间的关系加以分析，布列出方程。当然，在列方程时，通常都是设未知条件为  $x$ ，而这个步骤在中国古代称做立“天元一”。天元术，实际就是列方程的方法。

早在 7 世纪的唐代初期，数学家王孝通从生产实践中发现三次方程时起，天元术可能就已经创立。最初的著作都已失传，作者的姓名和年代都不能详考。在流传至今的数学著作中，最早对天元术进行系统叙述的，是 13 世纪杰出的数学家李冶。他在其著作《测圆海镜》(1248 年)和《益古演段》(1259 年)二书中，对此都作了系统的记载。李冶把前人列方程的方法加以分析比较，经过总结，加以简化，使天元术向前发展了一步，他的天元术和现代列方程的方法极为类似。它首先是“立天元一为某某”，即相当于现代列方程的“设  $x$  为某某”（其次，再根据问题给出的条件，列出两个相等的代数式，将二者相减，便可得出一个一端为零的方程。

在欧洲，16 世纪以前的代数式还是用文字写的。那时，要说明一个数学问题、解一道方程，简直像写一段文章。16 世纪以后，半符号代数才开始逐渐出现，而中国的半符号代数——天元术，要比欧洲早 300 多年。

本文的开头，我们已初步接触到天元术的表示法，下面我们进一步看看这一问题。

图 图 图

甲型第二式乙型第一式乙型第二式

图 、 、 与图 一样，同样都表示  $3600x^2 + 120x + 1=0$ ，只是

排列方法不同而已。在这 4 种排列法中，每个方程中只有一个“元”字，或只有一个“太”字。“元”字这一行表示一次项系数，“太”字这一行表示常数项，这样各方程中的各项就可以按顺序类推。

从这几种排列法中还可看到，甲型排法太在元下，实际是现在的降幂排列，而乙型排法太在元上，实际是现在的升幂排列。如果用甲型排法，则太以下各行可依次表示  $x-1, x-2, x-3$  项等等的系数。如图 ，则表示方程

$$4x^2 + x + 136 + 248x^{-2} = 0$$

李冶在天元术的研究中，还有如下的创造：

(1) 对负数，是在最后一位数字上加斜画“\”表示，如图 就表示方程  $4x^2 - x + 136 - 248x^{-2} = 0$

(2) 对小数，把各项的位数上下对齐，小数部分可立即看出，如图 则表示  $1.96x^2 + 84x + 900 = 0$

(3) 对于纯小数，是在缺位上加“0”，加在左侧，这比西方公认的十进小数发明者之一的比利时的斯台文还早 300 多年。

(4) 另外，前人研究高次方程时，常数项只限于负数，李冶又把此推广到常数项为正数的情况，从此对于方程的各项系数和常数项就没有什么限制。这比欧洲在 16 世纪下半期才不限制各项的系数和常数项又早了 300 多年。

(赵澄秋)

## 四元术

随着数学的发展，只能表示一元方程的天元术，已不足以应付复杂问题的求解，中国古代数学家们在掌握了天元术之后，便迅速地把它扩充到多元高次方程组的解法。因为未知数可以有 4 个之多，所以就把扩充后的天元术称之为“四元术”。

所谓四元术，就是用天、地、人、物这 4 个元来表示 4 个未知数，即相当于现在的  $x, y, z, u$ 。在用算筹摆列时，规定太（即常数项）放在中央，天、地、人、物 4 元分别放在太的下、左、右、上方，它们的幂从太往远处递增，例如，太的下面是天的一次幂，接着往下是二次、三次等等，“天”或“天<sup>2</sup>”同行都含有“天”或“天<sup>2</sup>”，同样地，“地”或“地<sup>2</sup>”的同列都含有“地”或“地<sup>2</sup>”，因此，“天<sup>m</sup>地<sup>n</sup>”，就位于“天<sup>m</sup>”行与“地<sup>n</sup>”列的交点栏内。为方便起见，可参见下表：

地 <sup>2</sup> 物	地物	物	人物	人 <sup>2</sup> 物	人 <sup>3</sup> 物
地 <sup>2</sup>	地	太	人	人 <sup>2</sup>	人 <sup>3</sup>
天地 <sup>2</sup>	天地	天	天人	天人 <sup>2</sup>	天人 <sup>3</sup>
天 <sup>2</sup> 地 <sup>2</sup>	天 <sup>2</sup> 地	天 <sup>2</sup>	天 <sup>2</sup> 人	天 <sup>2</sup> 人 <sup>2</sup>	天 <sup>2</sup> 人 <sup>3</sup>
天 <sup>3</sup> 地 <sup>2</sup>	天 <sup>3</sup> 地	天 <sup>3</sup>	天 <sup>3</sup> 人	天 <sup>3</sup> 人 <sup>2</sup>	天 <sup>3</sup> 人 <sup>3</sup>
天 <sup>4</sup> 地 <sup>2</sup>	天 <sup>4</sup> 地	天 <sup>4</sup>	天 <sup>4</sup> 人	天 <sup>4</sup> 人 <sup>2</sup>	天 <sup>4</sup> 人 <sup>3</sup>

如图 所示的位置排列 ,用上表 ,很容易就知道是方程  $3x + 2y + u - 4 = 0$

(1)

在方程 $-x + 3y + 4u + 3xy^2 + xyz = 0$ 里， $xyz$ 项（即天地人项）在表中无可安排位置的，只得把它的系数插在夹缝里如图 所示。

四元术是元代数学家朱世杰于 1303 年首先创立的，他在所著的《四元玉鉴》中列有一些多元（二元、三元和四元）的方程，并根据方程的具体情况，提出各种消去法，使最后余下一个只含一个未知数的高次方程，从而求得解。对于四元术的创立，朱世杰的朋友祖颐曾这样赞扬说：“吾友燕山朱汉卿（朱世杰字汉卿）先生演数有年，探三才之迹，索《九章》之隐，按天、地、人、物立成四元。”可见四元术的创立，在当时就受到学者们的极大重视。

四元术不仅是中国古代数学史上最光辉的篇章，同时也写下了中世纪世界数学史上最杰出的一页，阿拉伯的代数学也无法与之媲美，而西方更是远远落在后面。他们长期把不同的未知数用同一个符号来表示，以致含混不清，直到 1559 年法国数学家彪特才开始用不同的字母 A、B、C……表示不同的未知数，1779 年数学家培根才在他的《代数方程的一般理论》一书中给出了解法，这要比朱世杰晚了近 500 年。

（赵澄秋）

### 盈不足术

《唐阙史》记载着这样一个故事：唐代尚书杨损办事非常公正。一次，他的部下向他汇报了一件事，有两名各方面条件都差不多的办事员应该提了，可是名额只有一个，不知该提升谁好，杨损仔细考虑了一番说：一个办事员工作做得好，要看他写、算的水平怎样。我出一道题，他们谁先交出正确答案就晋升谁这道题是：有人在林中散步，无意中听到几个盗贼在分赃偷来的布匹。他们说，如果每人分 6 匹就剩 5 匹；如果每人分 7 匹，就会差 8 匹。试问一共有几个盗贼？布匹总数又是多少？两个办事员在大厅的石阶上用算筹进行计算、不一会；其中一个得出了正确答案，他被提升了。杨损的部下们非常佩服杨损，赞扬他处理官员晋升的事十分得当。

杨损考部下的这类数学问题，在成书于 2000 多年前的《九章算术》中就已提出，并专门列为一章，即第七章“盈不足”，给出了完整的解法——“盈不足术”，也就是双假设法。它是一种通过假设和检验，列出比率关系，然后求解的方法。例如，杨损提的问题用“盈不足术”来表述，为：今有布，人得  $x_1$ ，盈  $y_1$ ；人得  $x_2$ ，不足  $y_2$ 。问人、布各多少？由盈不足术列成公式，用现代数学的公式表示，即

$$x_0 = \frac{x_1 y_2 + x_2 y_1}{y_1 + y_2}$$

式中  $x_0$  为人平均所得数。则本题解得

$$x_0 = \frac{83}{13}$$

经检验，可知人为 13 人，布为 83 匹

上述问题在现代数学中可以用二元一次方程组来求解。设盗贼人数为  $x$ ，布匹总数为  $y$ ，则得二元一次方程组

$$\begin{cases} y = 6x + 5 \\ y = 7x - 8 \end{cases}$$

解方程组得  $x = 13$ ，即盗贼人数是 13 人； $y = 83$ ，即布匹总数是 83 匹。

综上所述，中国在 2000 多年以前，就已发明了二元一次方程的完整解法。盈不足术是中国古代独立创造的解决数学问题的一种杰出的算法。中国的盈不足术大约在 9 世纪传到了阿拉伯，13 世纪意大利数学家把它介绍到欧洲，并广为传播。在阿拉伯和欧洲的早期数学著作中，盈不足术被称作“中国算法”，它对世界数学的发展做出了贡献。

(赵澄秋)

### 算盘与珠算

用算筹进行计算相当繁复，十分不便。人们盼望着能有简便的计算工具和简单的计算方法问世，以替代算筹和筹算。经历长期不断的探索，算盘终于应运而生，并由之产生了一套简单易行的珠算。算盘是中国古代的一项伟大发明，它引起了中国传统计算方法的变革，促进了计算数学的发展。从世界范围看，算盘也是古代世界上最为先进的计算工具，即使已普遍使用计算机和计算器的今天，在加减运算方面，还是以算盘最为优越。

算盘发明于什么时候，有多种说法，清初著名历算家梅文鼎在《古算器考》一文中，推断算盘发明于元末明初，但也有有人认为算盘发明于宋代，有人认为发明于唐代，有人认为发明于汉代等。由于各种说法的文献依据不足，所以现在还不能确定。从现有掌握的资料看，它大约发明于宋元时期。元代末陶宗仪所著的《辍耕录》一书中，曾对当时一些婢仆的情况作了描绘，说：“婢仆初来时曰‘搯盘珠’，言不拨自动；稍久曰‘算盘珠’，言拨之则动；既久曰‘佛顶珠’，言终日凝然，虽拨之亦不动。”从中可以看到，当时算盘已较为普及，成为人们家中的日常计算用具。

算盘的最大特点是设有横梁，上一珠当 5，下一珠当 1，具有“随手拨珠便成答数”，“珠动则数出”的优点。与之相应的是，由此产生了一整套珠算口诀，口诵手拨运算起来十分简便、迅捷，故很快受到人们的喜爱，并迅速被推广。

现存最早的珠算专著，是明代数学家著于 1573 年的《盘珠算法》，书中绘有当时的算盘图式。此书现仅存一部孤本，收藏在日本内阁文库。1578 年的《数学通轨》一书中，亦绘有算盘图，称“初定算盘图式”。其形状是上两珠，下 5 珠，中间用横梁隔开，计 13 档，这已与现在通行的算盘相一致。

在珠算的推广、普及方面贡献最大的，是程大位于 1592 年所著的《直指算法统宗》。全书共十七卷，收入 595 个数学问题，以算盘作为主要计算工具求解这些问题。此书对明末乃至清代的传统数学产生了深刻的影响。它被反复翻刻，广为流传。就各种翻刻种类之多，传播之广而论，在中国古算书中，它堪称第一。

算盘和珠算在明代以后相继传入日本、朝鲜和东南亚，对这些国家和地

区计算数学的发展起过重大的影响。

(赵澄秋)

### 浮针辨四维——指南针

指南针是中国古代四大发明之一。

中国是最早发现磁铁的指极性，并且利用它制成指向仪器的国家。早在二千多年以前的战国时期，我们的祖先就发明了一种称为“司南”的磁铁指南仪器。“司”的意思是掌管，司南也就是专门掌管南方的装置。东汉时人王充在《论衡·是应篇》中说：

司南复原图“司南之杓，投之于地，其柢指南。”指出司南的形状像一把勺子，后人认为它是用天然磁石磨制而成。把它放置在一个有24个方位刻度的地盘（即罗盘）上，勺把的顶端就会指向南方。据《鬼谷子·谋篇》记载，战国时郑国的人到远方去采玉，随身带有司南，可以避免迷失方向。但用天然磁石制造的司南不容易找出准确的极性，且制造时琢、磨加工也容易失磁，成品率低，加上司南与地盘的接触面大，转动时摩擦阻力大，效果不太好，所以司南还不是一种理想的指向仪器。为了研制理想的指向仪器，人们经过不断地探索，终于发明了人工磁化方法，制造出了指南针。

指南针发明的确切年代，现在已很难予以考定。但可以肯定的是，迟至11世纪中叶以前，指南针已经出现。1041年成书的看风水书籍《莹原总录》中，有一段关于测定方位的文字，经分析已是使用指南针，并已发现了地球的磁偏角。最早明确记述指南针的文献，当数北宋伟大科学家沈括所著的《梦溪笔谈》（成书于1090年前后）。该书中写道：“方家以磁石磨针锋，则能指南，然常微偏东，不全南也。”这段文字明确指出，指南针是方家（风水先生）所发明的，用的是磁石磨针锋的人工磁化方法制成指南针，常微偏东则是由于地球磁偏角的作用。该书中还记述有当时指南针的4种装置方式，即：水浮法，把磁针横贯灯芯草，让它浮于水面上；放于碗唇上；放于指甲上；用丝线拴在磁针中心，悬挂起来。后来人们普遍采用的是水浮法，在木制罗盘中央挖一圆形水池蓄水，放上贯有灯芯草的磁针，罗盘周边刻有24个方向，整个装置也叫水罗盘，又称指南浮针。

指南针的最大业绩，是它在航海中的应用，引起了航海技术的重大变革，开创了一个人类航海活动的新纪元。在此之前，人们航行于茫茫大海中，判定航线，辨别航向，靠的是夜间观测星辰，白天观测太阳。这种观测主要是定性的，难于准确。而在阴天或下雨天时，星星、太阳都观测不到，只能凭藉经验，因此容易迷失航向，偏离航线，甚至发生海难事故。指南针的出现给航海提供了一件有力的工具，弥补了原有测向技术的缺陷。特别是通过指南针观测可以测定船舶在海中所处的经度，结合天文观测测定纬度，即可确定船舶的方位，这在航海技术中具有极其重要的意义。英国著名科学史家李约瑟博士说，指南针在航海中的应用，是“航海技艺方面的巨大改革”，它把“原始航海时代推进到终点”，“预示计量航海时代的来临”。这个评价是很中肯的。

指南针大约于北宋末期（11世纪末）开始在航海中应用。中国宋元时期海外交通事业的繁盛，明初的郑和七次下西洋航海壮举，皆得益于指南针之

助。指南针的外传，特别是传入欧洲，更促成了欧洲近代大航海时代的到来。

（金秋鹏）

## 指南鱼

指南鱼是中国古代发明的磁性指向仪器。指南鱼有两种，一种是铁片指南鱼，一种是木刻指南鱼。

铁片指南鱼大约发明于 11 世纪上半叶，在行军作战时被用来指示方向。11 世纪中叶成书的著名军事典籍《武经总要》中，记载有这种指南鱼。其制作方法是，用薄铁片裁剪成鱼形，长二寸（约 6.32 厘米，宋代一寸相当于 3.16 厘米），阔五分（约 1.58 厘米），放在炭火中烧，等烧至通红后夹出，蘸入水中，蘸水时使鱼尾指向正北方向，并且稍为向下倾斜，取出后鱼形薄铁片即被磁化，有了指向性。使用时让它浮在水面，就可以指引方向。这种磁化方法包含有丰富的科学道理，是科学史上非常了不起的发明和发现。近现代科学表明，磁铁的磁性是由其内部磁畴的规则排列而产生的，非磁铁的磁畴却由于排列杂乱无章而不具磁性。鱼形薄铁片烧红之后，内部磁畴活动加剧，沿南北向放置可以在强大的地磁场作用下，使磁畴顺着地磁场的作用规则排列，蘸入水中可以使磁畴的规则排列比较迅速地固定下来，从而使其磁化。至于鱼尾稍为向下倾斜，则是由于地磁场存在着磁倾角，沿着磁倾角进行磁化，可以加强磁化的程度。《武经总要》的记载，是世界上最早关于利用地磁场进行人工磁化，以及地球磁倾角的记载。

木刻指南鱼亦发明于宋代，是用天然磁石制成。据南宋著作《事林广记》记载，其制法是用木块刻成鱼形，大小如拇指（约 6 厘米），鱼腹掏空，装入磁石，用蜡填满，即成可以指示方向的指南鱼。为使其指向更为明显，特从鱼口中插入一铁针，外露部分向上弯曲翘起。用时把指南鱼放入水中，鱼口铁针即朝南指向。

《事林广记》中还记载有一种指南龟，制法与指南鱼相同，但把鱼形改为龟形，铁针由龟尾敲入，龟腹下刻一微陷的小洞。又另置一小木板，板上安一竹钉。把龟腹下的小洞安放在竹钉尖端上，即可旋转，静止后龟尾指向。这可视为有固定支点的磁性指向仪器之滥觞。

（金秋鹏）

## 小孔成像实验

楼阁或寺院中的佛塔通过窗隙在室中形成倒影的现象，在古籍中时有记载。而对其原因，多数人感到莫名其妙，无法理喻，更有人把它说成是“海翻”的结果，也有少数的佼佼者通过实验，进行求索，提出了科学的见解。

中国最早的，可能也是世界最早的小孔成像实验，是公元前 5 世纪时的墨子进行的。他用一暗室，壁上开一小孔，让人对着日光站在室外，则暗室内的屏上就会出现一倒立的像。对此他解释说，光之照人如同射箭一样，是直线传播的；足遮住下面的光，故成像于上；头遮住上面的光，故成像于下，因而形成倒像。他还考察了人与小孔距离的变化对成像的影响，指出人

由远而近，则像由小而大。这里不仅首次十分明确地提出了光的直线传播原理，而且首先以实验的方法对小孔成像给予科学的解释。

宋代著名科学家沈括，对小孔成像原理也进行了研究。他在《梦溪笔谈》中说：“若鸢飞空中，其影随鸢而移。或中间为窗隙所束，则影遂与鸢相违，鸢东则影西，鸢西则影东。又如窗隙中楼塔之影，中间为窗所束，亦皆倒垂，与阳燧一也。”用小孔“所束”形象地阐述了飞鸢、楼、塔通过小孔生成倒像的现象，并推测小孔与阳燧（凹面镜）的成像属于同一类型。由此，他明确指出：“影入窗隙则倒，乃其常理。”

中国历史上对小孔成像进行最深刻研究的，是宋末元初的科学家赵友钦。他作了一系列细致的实验，把对小孔成像的认识提高到一个新的水平。

首先，赵友钦用壁上的小孔，对日月在室中的成像进行了观察。他观察到：不管小孔形状圆或不圆，室中日光所成的像总是圆的，乃至日食时，像的食分亦与日食相同；不论小孔的宽窄不同，像的周径总是相同的，只是宽者像浓，窄者像淡；如把像屏移近小孔，则像变小而亮度增加。他又把小孔换成大孔，从而观察到，所成的像与孔的形状相同，不管大孔的形状是方是圆，是长是短，是尖是斜，像亦随之。由此，他得出结论，指出因大孔：“可容日月之体”，故所成是孔之像，而小孔“不足容日月之体，是以随日月之形而皆圆，及其缺则皆缺”，所成乃日月之像，此时孔的大小只与像的明暗相关。

为了进一步研究小孔成像的规律，赵友钦又设计了一个较为复杂、细致的实验。他用一座两层楼房，在楼下两间房中各挖一个直径四尺多（1米多）的圆阱，右阱深四尺（1.26米，宋元时的一尺相当于31.6厘米），左阱深八尺（约2.53米），于左阱中置一高四尺（1.26米）的桌子；作2块直径四尺（1.26米）的圆板，分置于两阱中，板上各插千余支蜡烛，作为光源，以代表日月。另作直径五尺（1.58米）的圆板2块，分盖于二阱口，板上各开一方形孔，左孔边长约一寸（3.16厘米），右孔边长约一寸半（4.74厘米）。其所以开方形孔，是为了证明孔小像必圆，其像与孔的形状无关；二孔一大一小，是为了观察其亮度的明暗。圆阱所对的楼板则作为像屏。

整个实验分6个步骤进行：第一步，把二阱中蜡烛全部点燃，则楼板上各有一圆像，大小差不多，只是右边的像因孔稍大而亮度较强。

第二步，是模拟日月食的情况，把右阱东边的蜡烛灭掉500支，则所成之像西边亦缺。

第三步，把左阱中蜡烛灭掉，只燃二三十支，让它们均匀分布在圆板上，则所成之像虽是圆形分布，但点点为方，不相粘附，而且亮度很淡；又把这二三十支烛熄灭，只点一支，则只生成一方形的像。这是因为对于少量蜡烛来说，方孔已相对成为大孔，所成之像为孔的像。

第四步，另用2块大板悬挂在楼板之下数尺，作为像屏。点燃二阱中的蜡烛后，所成之像则较成像于楼板时小而亮。这是由于像距小孔近则小而亮，远则大而暗。

第五步，撤去楼下悬板和左阱中的桌子，使左阱中的蜡烛燃于阱底，则所成之像，较右阱之像小而淡。这是因为烛与小孔的距离变远的缘故。

第六步，撤去阱盖上的圆板，另作二块直径一尺多的圆板，悬挂于楼板下，右板开一个边长四寸（12.6厘米）的方孔，左板开一个边长五寸（15.8厘米）多的等边三角形孔，则左边所成之像为三角形，右边之像为方形。表

明大孔之像为孔之像，其形状与光源的形状无关。如调整悬吊孔板的高低，则像与孔的距离远者大而淡，近者小而亮。

通过实验，赵友钦得出了小孔成像的规律，包括孔的大小与像的关系，像距、物距远近与像的大小和亮度的关系等，并用光的直线传播原理给予了科学的解释，在光学史上写下了光辉的一页。他的实验比近代著名物理学家伽利略的类似实验，早了二三百年的。

(金秋鹏)

## 铜镜成像研究

在西方有这样一则传说，说的是古希腊时，罗马人派了大队的兵船进攻叙拉古，杰出的物理学家阿基米得（前 287—前 212 年）为了保卫自己祖国的城市，制造了一面巨大的凹面镜，当敌人的船队到达距城墙一个箭程时，便用这面镜子聚光，使敌人的船队起火，从而击败了敌人的进攻。这虽然只是一个虚构的故事，但反映了人类很早就已知道凹面镜能够聚光取火。在中国，利用凹面镜取火也不比古希腊晚。至迟在公元前三四世纪时，凹面镜就已被用作取火工具，并取名为“阳燧”。

中国有着 4000 多年的制镜历史。古代的镜子有平面、凹面、凸面 3 种，都是用青铜铸造、磨光而成。凹面镜、凸面镜现统称球面镜。最先对各种镜子进行有意识的、系统的研究的，是春秋战国之交的思想家、科学家墨子。英国李约瑟博士说，墨子关于光学（包括小孔成像、平面镜、球面镜成像等）的研究，“比我们所知的希腊的为早”，“印度亦不能比拟”。

在平面、凹面、凸面 3 种镜子中，以凹面镜的成像最为复杂，因而也显得较有意义。墨子通过实验指出，凹面镜所成之像有 3 种状况，即：在“中”之内生成正像，距“中”远所成像大，距“中”近所成像小；在“中”处像与物一样大，为正像；在“中”之外，则形成倒像，近“中”像小，远“中”像大。“中”指球心。在这里，墨子虽尚未能区分球心与焦点，把二者混淆在一起，但其结论与近现代凹面镜成像原理基本上是相符的。

对于平面镜，墨子指出其所成之像，与人（或物）大小相同，远近对称，但却左右倒换。如果是 2 个以上平面镜相向而照射，则会出现重复反射，形成无数的像。

对于凸面镜，墨子指出其所成之像只有一种，即正像，近镜像大，远镜像小。

后来，宋代的沈括亦对各种铜镜作了系统的研究，发展了墨子的成像理论。他已发现了焦点处不成像，并把焦点称为“碍”。他还指出凸面镜所成之像都是缩小的像，故铜工铸镜时，大都铸成微凸，“收入面令小，则鉴（即镜）虽小而能全纳人面”。为了收到最佳的效果，镜工还根据镜的大小，修整其凸起的高度，使人面成像的大小与镜面大小大致相对应。这是中国古代制镜中广泛应用的传统工艺，其起源可以追溯到三四千年以前。

(金秋鹏)

“鼓宫宫动，鼓角角动”



### ——最早的共鸣实验

三国时，魏都洛阳宫内一殿前的一口大钟突然无缘无故地鸣响，引起了朝中文武大臣的惊异。他们对此议论纷纷，有的以为是不祥之兆，有的以为是祥瑞，争吵不休。当时有人去问博学多才的张华（232—300年），张华回答说，这是蜀中有铜山崩塌，引起宫中大钟的相应自鸣。不少人对这一回答都不信，不久蜀郡上报，在宫中自鸣的同时，发生起铜山崩塌事件，证实了张华的推测。

西晋时，国都洛阳有人家中置有一个洗澡用的大铜盆，每日早上和傍晚时总会自行鸣响，如同有人叩打一样。于是，主人向张华请教其原因，张华告诉他，这个铜盆与宫中的大钟音调相应，宫中早、晚撞钟，所以声音相应，引起铜盆鸣响。只要让人用锉把铜盆挫掉一点，让其变轻，则音调不一致，鸣响自会停止。盆主人照张华的话去做后，盆就不再自行鸣响了。

唐朝开元年间（713—742年），洛阳一个佛寺的僧房中悬挂的一石磬经常自鸣，住在房中的和尚感到恐惧不已，并因此生了病。和尚的友人、管理朝廷音乐的“太乐令”曹绍夔（音 kuí）听说后，特到寺中向和尚问候。在僧房中，他听见斋钟叩鸣时磬亦跟着作鸣，一下子明白了其中的原因。于是他同和尚开了一个玩笑，要和和尚第二天设宴招待，他可以替和尚解除石磬作祟。和尚满口答应，一一照办。第二天，曹绍夔怀中藏着铁锉前往赴宴。饭后，他取出铁锉，在石磬上几个地方锉磨一番，便作辞而别，从此磬就不再自鸣了。和尚特意向曹绍夔请教，绍夔告诉他说：“这个磬与斋钟音律相合，故击彼此应”，和尚听后顿为放心，病也痊愈了。

以上是古籍中记载的三则故事，反映了中国古时人们对于声音共鸣现象的认识之一斑。实际上，古时人们的认识比这些故事要广泛和深刻得多。

早在二千三四百年前的春秋战国时期，人们就对声音的共鸣现象有所认识，并在实践中应用。《庄子》一书的“杂篇·徐无鬼”条即记载有，使二把瑟放置在二间房中，“鼓宫宫动，鼓角角动，音律同矣”。也就是说，拨动一间房中一把瑟上的某一根弦，则另一房中瑟上相应的弦也会振动。记载上还说，如果调一把瑟上的一根弦，使它与五声中的任何一声都不相当，那么弹动它时，另一把瑟上的25根弦都会振动。这是关于瑟的基音和泛音的共鸣现象的描述。这段记载，表明当时已对瑟的共鸣进行了实验，这可能是世界上最早的声音共鸣实验，关于泛音共鸣现象的发现也较西方为早。同时期的另一著作《墨子》“备穴”篇中，记载有在城根每隔五步（约合现在的8米）挖一口井，井中放置一口大坛，坛口蒙一层生革，让听力灵敏者伏在坛口监听，以便防备敌人挖掘地道攻城。这是对于声音共鸣现象的巧妙应用。后世在军事行动中一直沿用这一方法。

宋代时，对于声音共鸣的研究又得到了深化。沈括曾设计了一个纸人实验，即在琴瑟的某根弦上放置一个小纸人，“鼓其应弦，则纸人跃，他弦即不动。声律高低苟同，虽在他琴鼓之，应弦亦振”。类似实验，欧洲直到1677年方进行，比我国沈括的实验晚了大约600年。沈括与其后的周密，还通过实验发现了共振可以发生在振数比为 $\frac{1}{2}$ 、 $\frac{2}{3}$ 等处，把关于共鸣的认识从定性阶段推进到定量阶段。

(金秋鹏)

## 天坛回音壁三音石和圜丘

声音经过反射而产生的回音现象，是人们早已发现的。但是利用这种回音效应，把其有意识地应用于建筑上，以收取特殊的效果，在古代世界中却是极为少有的，北京天坛中的回音壁、三音石和圜丘，则是这方面的杰作。

古时，皇权被认为是上天所授予的，皇帝称作“天子”，代表“天”在人世间行使政务。因此，祭天成为最大的典礼。天坛始建于明永乐十八年（1420年），是明、清两代帝王祭天的场所。为了增强祭典的庄严性和神秘性，特意创设了具有声学效应的回音壁、三音石和圜丘。

回音壁和二音石在皇穹宇之中，皇穹宇是专门收藏、供奉“皇天上帝”和各配神木牌位的处所。其宫门为3座并列的殿脊式券门，四周围墙为正圆形，象征天象。这堵圆形墙即是回音壁，又叫传声墙。只要两个人各在东西配殿后贴墙而立，面向北面，一人挨墙说话，一人把耳朵贴墙细听，无论说话的声音大小，对方都可以听得清清楚楚，而且还可以自行调节音量。但如果听话的人把耳朵向南，则所听到的声音就极为细微；如果说话的人把嘴向南，就听不到声音。产生这种声学效果的原因，在于围墙的弧形使得声音的入射角只要小于22°，就能满足“全反射”的条件，连续反射的声音以较小的能量衰减折射入耳中。

三音石指皇穹宇正殿前阶下第三块石板。当殿门敞开，关闭殿上窗户，并使殿门到殿内正北神龛之间没有任何障碍物时，人站在三音石上面对殿门说话，就可以听到二三声回音，而且声音洪亮，站在殿外任何地方都可以听到。有人以“人间私语天闻若雷”来描绘这一现象。更有人妄加比附，说殿前有3块“三才石”，即天石、地石、人石，人们必须站在人石上，打开殿门，才能与上天说话，回音则是皇天上帝的回答。其实，这是由于声音在圆形亭子式的正殿与圆形回音壁之间反复反射的结果。

圜丘在皇穹宇的南面，始建于明嘉靖九年（1530年）。它是一座3层圆形汉白玉石台，为祭天时的祭台。四周有两层蓝色琉璃瓦的矮墙，外层呈方形，内层呈圆形，象征古人所认为的天圆地方。根据《周易》的“太极生两仪，两仪生四象”的规定，在台面正中位置嵌入一块圆形石板，叫做“太极石”。台面以“太极石”为中心向外砌砌石板，略呈坡面。人站在“太极石”上一呼，会从四面八方传来回音，好似众人齐鸣，一呼百应，具有神秘的色彩，被称为“亿兆景从”。这一声学效果，是由于从台中心发出的声音，经四周的栏杆、矮墙反射到台面，再由台面反射到中心而造成的。

(金秋鹏)

## 十二平均律

音乐会的乐曲令人感到声音悦耳、和谐，身心受到陶冶，是一种绝妙的享受。而噪音却会使人情绪烦躁，头昏脑胀，简直是在受罪。同样是声音，为什么会使人有如此不同的感受呢？大家知道，声音是由物体的振动而产生的。振动在一定时间内有规律地、周期性地进行，所发出的声音就有一定的

高度，这种音称为乐音。音乐是由乐音构成的。如果振动毫无规则，所发的声音就杂乱无章，称为噪音。音乐的音阶中各音的由来和高度，与发音振动体（如弦、板、管等）的长短、大小有着相对应的关系，律学就是用数学方法来研究这一对应关系的一门科学，它是音乐的基础理论之一。

中国有着悠久的音乐发展史，也有着悠久的律学发展史，并取得了许多光辉的成就。现在世界通用的十二平均律，就是由明代著名科学家朱载堉于1584年首先建立的，比欧洲音乐理论家梅尔生的同一结果早了半个世纪。

在中国古代，统治者对音乐是非常重要的，礼乐并称，被用来衡量王朝政权的兴衰。相应的音律学也占有重要的地位。在二十四史中，音律有的独立成章，称律志，有的与历法合在一起，构成律历志。

在公元前约1000年的西周初期，中国就已有十二律和五声、七声音阶了。在春秋战国时期，开始使用三分损益法来确定管或弦的长短和发音之间的关系。所谓三分损益法，就是把一个振动体（如弦）在长度上均分为3段，去其 $\frac{1}{3}$ ，取其 $\frac{2}{3}$ ，称为三分损一；再把这 $\frac{2}{3}$ 的长度均分为三段，加上 $\frac{1}{3}$ ，成为 $\frac{4}{3}$ ，称为三分益一：如此一损、一益，即可相生而成各律。例如五声音阶，历史上称宫、商、角、徵（音zh）、羽，以宫为主音，把宫弦分为81分，利用三分损益法，就可以生成其他各律，即宫为81，徵为 $81 \times \frac{4}{3}$ 得108，商为 $108 \times \frac{2}{3}$ 得72，羽为 $72 \times \frac{4}{3}$ 得96，角为 $96 \times \frac{2}{3}$ 得64。

按三分损益法计算的结果，十二律中相邻两律间的频率比不完全相等，所以称为十二不平均律。利用三分损益法虽可以生成十二律中的各音，但其生律11次后（即到十二律时），不能回到出发的律上，使十二律周而复始，这不论在演奏上或理论上都存在困难。为了解决这个矛盾，历代的许多音律学家都曾经进行了各种尝试，但都是在三分损益法的基础上进行修正，没有在计算方法上进行变革，因而都没能取得完美的结果。

直到朱载堉方认识到要解决十二律周而复始的问题，依靠三分损益法是不可能达到的。他通过对吹、弹等各类乐器的大量试验，创立了新的计算方法，即采用等比级数的方法平均分配十二律的长度距离，使相邻律间的频率比都等于 $\sqrt[12]{2}$ 。如设基音为1，则以下各律的相应弦长依次为 $2^{-\frac{1}{12}}$ 、 $2^{-\frac{2}{12}}$ …… $2^{-\frac{11}{12}}$ 。这样在十二律后，频率正好是开始之音的倍数，即高八度或低八度，从而解决了2000多年未能解决的难题。正如朱载堉自己所说的：“是以新法不用三分损益，不拘八相生，然而相生有序、循环无端，十二律吕一以贯之。此盖二千余年之所未有，自我圣朝（注：指明朝）始也，学者宜尽心焉。”

十二：平均律的创立，引起了音律学的变革，并对近现代音乐的发展作出了重要的贡献。

（金秋鹏）

## 被中香炉

在中国古代，人们有一种习惯，就是燃点香料，以驱除室内的臭气、邪气、蚊虫。这种习惯，根据文献记载和出土文物可以看到开始于西周时期，

以后连续不断，越来越盛行。帝王、官僚、富豪们的生活更是侈奢，他们不但要在室中熏香，还要熏被。在被中熏香，极易烧坏被褥，甚而引起火灾。如何方能保证熏被的安全呢？人们为此而发明了被中香被中香炉也叫卧褥香炉，大约在西汉前期即已问世。汉代著名诗人司马相如（前179—前117年）的《美人赋》中，有“金铤熏香，黼帐低垂”的诗句，据宋代学者章樵注解，“铤音匠，香球，衽席间可旋转者”，可知司马相如生活的年代已有了被中香炉。被中香炉后来失传，至西汉末又由巧匠丁缓重新造出，以后历代相沿，一直到清代仍有制造。新造出，以后历代相沿汉晋古籍《西京杂记》在记述丁缓重造被中香炉时说：“为机环运转四周，而炉体常平，可置之被褥，故以为名”。从现存的古代被中香炉可以看到，它是由几个轴心线相互垂直的金属环构成，在中央轴心上安装一个半圆形或盂形的容器，容器中点香，外面用镂空的金属球包裹。由于互相垂直的各环转轴彼此制约，以及容器自身重量的作用，不管香炉如何转动，燃点香料的容器都保持着水平位置，燃点着的香料都不会外泄，免除了着火之虞。这实是一项精妙的发明。中国历代所造的被中香炉有铜的、银的、镀金的，中环轴结构有二环的，有三环的。

除被中香炉外，此类结构和原理还用于其他方面。如：武则天如意年（692年），有人制造了一种烤火取暖器，叫“木火通”，“铁盏盛火，辗转不翻。”宋代时，有一种用于舞龙的“灯球”，内盛油脂，无论舞灯者如何飞舞，灯火都不会溅出。又有一种妇女佩挂的“香球”，不管佩挂者如何活动，内装的香料都不会掉出。用现代科学的角度看，被中香炉的轮轴结构实际上是一种常平架，又叫万向支架。常平支架是现代回转器（陀螺仪）的关键部分，已在工业中被广为使用，而推根溯源，则被中香炉乃是其始祖。

（金秋鸣）

## 喷水鱼

洗现在，在中国各地的许多旅游点，都放置有一种铜盆，盆底刻有4条鱼纹，盆内盛水，供人们娱乐。当你用手摩擦盆的双耳时，盆就会发出嗡嗡的响声，盆中的水亦随之由鱼口处向上喷射。犹如盆底的鱼腾跃嬉戏，把水花搅得四溅一般。这种铜盆就叫喷水鱼洗，简称鱼洗。“洗”是古时对盥洗用器的称谓，类似于今天人们所用的脸盆。

喷水鱼洗是中国古代的一项科学发明，大约出现于唐代。南宋时，鱼洗已被作为商品。南京一带就有人铸铜为洗，底有双鱼纹，称为双鱼洗。四鱼洗是由双鱼洗演化而成的。

古代除铸造铜鱼洗外，还烧制有瓷鱼洗。相传在南宋时，曾派遣使者出使金国。金主命人取出一个瓷盆给使者看，盆底有2条鲤鱼图案，“水满则跳跃如生，覆之无它矣”。金主告诉使者，这是唐代皇室的绝代之珍，后晋时落到晋主之手，晋出帝石重贵投降辽国时献给辽主，金国又得自辽国。

喷水鱼洗之所以能喷水，其原因在于板振动。鱼洗的盆壁类似于圆柱形板体，当手摩擦双耳时，会引起盆壁振动，而盆底不发生振动。这种振动是横向振动，即平行于水平面的振动，并发出声响。这种有规则的圆柱形板振动，又引起了盆中所盛之水的振动，产生驻波现象。因波腹处水的振动最强烈，从而产生喷水效果。如调整鱼口正当振动的波腹位置，则水仿佛是由鱼

口喷出一般。其调整方法是，当圆柱板振动引发水振动时，波腹处会在水面产生定向的波浪，而波节处水则不振动，这样浪花便会停止在波节线上。由水珠、气泡和浪花的停泊线，可以看到水面不振动的节线，进而推测出鱼洗周壁的波腹和波节位置，然后确定鱼口的位置。之所以设双鱼或四鱼，是由于鱼洗的对称性，它的振动只能产生偶数节线。

喷水鱼洗使不可见的振动变为可见的振动，由之可以绘出振动波纹图形，这在物理学上具有重要的意义。西方类似的实验，直到 18 世纪下半叶方进行。

(金秋鹏)

## 火焰鉴别法

某些金属化合物在无色火焰中灼烧，会出现特征颜色，人们将这类反应称作“焰色反应”。利用金属化合物的这一特性鉴别物质的方法叫“火焰鉴别法”，它是近代化学分析实验中常用的一种方法。

现已知道的一些金属化合物在火焰中的特征颜色为：

钠 (Na)：呈黄色；	钾 (K)：呈紫红色；
锶 (Sr)：呈猩红色；	钡 (Ba)：呈黄绿色；
钙 (Ca)：呈砖红色；	铜 (Cu)：呈绿色；
镁 (Mg)：明亮眩目光焰；	硼 (B)：呈(蓝)绿色；

等等。

火焰鉴别法在中国古代早已有所应用，出现于春秋末期的《考工记》一书，就有这样的记载：“凡铸金之状，金与锡黑浊之气竭，黄白次之；黄白之气竭，青白次之；青白之气竭，青气次之，然后可铸也。”当时的人们以火焰的颜色来判断炼铜的进程，至“青气”出现，所炼之铜的纯度即已达到铸造的要求。中国南朝齐梁时期的著名医药学家和炼丹家陶弘景，于其《本草经集注》中记述：“先时有人得一种物，其色理与朴硝大同小异，舂舂如握盐雪不冰。强烧之，紫青烟起，仍成灰，不停沸，如朴硝，云是真消石也。”文中“朴硝”，是指消石 ( $\text{KNO}_3$ ) 的天然产物，尚未经过加工；舂舂：尘埃高积的样子，此处形容朴硝之粉尘状。陶弘景利用钾盐的特征焰色——紫红色，鉴别出消石，开创了火焰鉴别钾盐的先河。

此外，中国古代人们还利用火焰鉴别贵金属的真伪，这种方法类似于近代化学中的“火试金法”。东汉炼丹家魏伯阳在其《周易参同契》一书中记有“金入于猛火，色不夺精光”的方法，他是用火焰鉴别真金和伪金。古时常有江湖骗子以铜的合金或化合物冒充黄金以欺人骗市，经常有人上当受骗。对此，明代人谷应泰又提供了一种鉴别伪金的方法：“凡疑金物非真，要见原质者，用食(醋)调山黄泥涂金器，入炽炭中猛煨，若有假伪，其器即黑。”谷应泰是利用伪金(铜)器在火焰中灼烧，生成黑色氧化铜的特性识出伪金的。

中国古代人们所发明的一系列“火焰鉴别法”，准确性较高，又简便易行，是古代化学的重要成就。

(李劲松)

## 九转还丹

九转还丹，是中国古代炼丹家们主要炼制的丹药之一。“丹”，就是丹砂，也叫做“灵砂”，化学名称硫化汞（HgS），丹砂是指红色的硫化汞。“还丹”，就是人工合成并经过升华精炼的丹砂，因“丹砂烧之成水银，积变又还成丹砂”而得名。炼丹家们把炼丹过程中的变化或精炼操作的次数叫做“转”，“九转”即反复烧炼了9次。九转还丹要经过9次烧炼才能制成，可见其炼制极不容易。

在古代炼丹术中，炼丹家（方士）们以阴阳五行学说为基础来解释各种丹药的药性。炼丹家们对药物的阴阳属性的划分原则往往很笼统，通常认为可燃的，颜色赤黄的，“见火易飞（升华），去质轻化（易升华）者”，隶属阳性，如硫黄、丹砂等物；而认为产于水中的，或“形质顽狠，志性沉滞者”，则隶属阴性，如汞、石盐等物。西汉武帝时期（前140—前87年），以著名方士李少君等人为首的一派炼丹家，推崇灵砂为火丹，他们认为灵砂乃是“万灵之祖，造化之根，神明之本”，所以是“大药之祖，金丹之宗”。他们的理论根据是：“硫黄本太阳之精，汞为太阴之气”，炼丹者自丹鼎中“取阴阳之精，法天地造化之功，水火相济，自无入有，以成其形”。得到九转还丹，这种丹药是集合阴阳之精华，人服用后可延年益寿，进而修道成仙。

炼制九转还丹的方法有两大类。一类是直接天然丹砂制取，具体做法是：

将天然丹砂（红色 HgS）放入丹鼎中加热，使其分解为硫和汞，硫和汞再重新化合生成黑色硫化汞，再经升华回复而成丹砂，这样反复9次，最后获得九转还丹。

一类是用硫和汞制取九转还丹，其具体制法如下：

先将硫黄 1500 克用铁锅熔化，次下水银 5000 克，以铁铲拌炒；另备好醋一碗，炒至火焰冒时，急以醋喷之，以之成砂（至此为制砂过程）；放入阳城罐（产自河北阳城的一种陶质丹罐，因其有高温下不开裂的优点，故古时炼丹家均乐用此罐，以炼丹药）中，铁盖盖口，以盐泥封固，铁丝上下缠紧，不使火气冲起铁盖，盖内贮水，以炼干十二盏为度；另备盐泥一碗，以防备缝口漏气时，用来糊死缝口。火候足时，取出研末，每 30 克灵砂，配以硫黄 7.5 克；再炼两转后取出研末，每 30 克灵砂，配硫黄 4.8 克；四转时，照上配比配硫黄 1800 克；五转时，配硫与二转同；六转时，配硫与三转同；直至九转，可照数类推，炼到九转，就可得到九转还丹。

在九转还丹的炼制过程中，除去迷信的部分外，实际上是丹砂（红色硫化汞）的制作和精炼过程。丹砂，是人类早期使用化学方法炼制而成的纯度较高的产品之一，这一技术的发明创造，是中国古代化学史上的一项重要成就。

（李劲松）

火药

火药是中国古代四大发明之一。顾名思义，火药乃是易于着火之药，开始阶段亦正是从易燃的意义上被认识和利用的。

火药的发明应归功于炼丹家，它的问世经历了一个较长时间的孕育过程。在古代炼丹家的炼丹活动中，硫磺和硝是常用的药品。硫磺被视为“能化二金银铜铁奇物”，硝石被认为可“久服轻身”，它们的易燃性亦在炼制活动中被炼丹家所认识。到了9世纪的唐代中叶时，炼丹家更发现了把硫磺、硝和炭混合在一起加热，会发生爆燃，引起火灾，烧伤人的手面，烧毁房屋。由此，人们便把以硫磺、硝和炭为主要成分配制而成的药物称为火药。在经过一段探索后，火药开始被实际应用。火药被引入医学，成为药物，用于治疗疮癬，以及杀虫、辟湿气瘟疫。火药被引入军事，成为具有巨大威力的新型武器，并引起了战略、战术、军事科技的重大变革。

大约在10世纪初的唐代末年，火药开始在战争中使用。初期的火药武器，爆炸性能不佳，主要是用来纵火。随着工艺的改进，火药的爆炸性能加强，新型的火器亦不断出现。

《武经总要》中，记载有3个火药配方，其中硝、硫、炭三者的比例分别为60%：30%：10%；61.54%：30.77%：7.69%；74%：26%（硝：硫），已接近于现代黑色标准火药的配比。现代黑色标准火药的配比，美国为74%：10%：16%，德国为75%：10%：15%。《武经总要》中还记载了一种叫做“霹雳火球”的火器，点燃后声如霹雳，为爆炸性火器之肇始。到了13世纪上半叶，已能制造具有巨大爆炸力的火器。1232年，元兵攻打金人的南京（今河南开封）时，金兵曾使用一种叫“震天雷”的武器，“火药发作，声如雷震，热力达半亩之上，人与牛皮皆碎迸无迹，甲铁皆透”，可见爆炸威力之强。

新式的管形火器也在13世纪的南宋时期出现。管形火器的出现，表明人类已在更高的层次了解火药的性能，能够更加有效地控制和操纵烈性火药。最先出现的管形火器是火枪，发明于1232年。它用巨竹制成，用以喷射火焰。1259年突火枪又发明了突火枪，也是用巨竹制成，内安子窠，点燃后“子窠发出，如炮声，远闻百五十步”。宋时一步为五尺，约相当于1.58米。到了宋末或元初，管形火器已先后用铜或铁铸制，大型的叫火铳，小型的叫手铳，已经具备了近现代枪炮的雏型。

12世纪、13世纪时，火药及火药武器经海上中外交往，陆上蒙古军队西征，先后传入了伊朗、阿拉伯和欧洲，后来成为文艺复兴时期攻破封建城堡的有力武器，并进而改变了人类历史的进程。

（金秋鹏）

## 火箭

在中国古代文献中，称“火箭”者包括有两大类。一类是在箭上捆扎着易燃物或火药，用弓发射以纵火的火箭；一类是利用火药自身喷射所产生的反作用力推进的火箭。这里我们要介绍的是后一类火箭，它是现代火箭的始祖。

12世纪时，南宋的都城临安（今杭州）就有了地老鼠、流星之类的焰火，以为节庆活动助兴。这可说是最早的火箭。至今大型庆典燃放焰火，已成为

风靡世界的举措。

至迟在 13 世纪上半叶，火箭技术被用于战争，开始有了利用火箭原理制造而成的新式武器。1232 年，金兵在开封抵御元兵进攻时使用的“飞火枪”，就是一种初期的火箭武器。它的制法是，用一种敕黄纸一层一层卷起，共卷成 16 层，卷成圆筒形状，长大约 60~70 厘米，内装炭、铁滓、磁末、硫黄、砒霜，以及硝等药物，用绳扎捆在枪端，点燃后可喷射火焰 3 米多，火药喷尽后，筒仍完好无损。这种火箭筒是中国古代火箭的主要形式，而其制作工艺和装置方式则不断得到改进和完善。达数十种。有把火药筒装于箭上的“火箭”，有把火药筒装于刀、枪、剑、鞭等兵器上的飞刀箭、飞枪箭、飞剑箭、鞭箭，等等，皆可射远攻敌，射程可达“数十步至二三百步”（明代一步为五尺，约等于现代的 1.6 米左右）。除单飞火箭类武器外，还出现了集束类火箭，即把箭上装有火药筒的“火箭”并列装在一起，每个火箭筒的引信与一条总引信相连，点燃总引信后即可同时把“火箭”一齐发射出去，火箭数目有多有少，少的几支，多的几十支，甚至上百支，火箭的名称有许多种，如神机箭、火笼箭、三只虎铖、十箭箭、九龙箭、一窝蜂、四十九矢飞廉箭、百矢弧箭等，还有两头齐发的双飞火笼箭等。

值得特别指出的是，飞弹型火箭武器亦已在明代出现，这堪称现代导弹的发端。“神火飞鸦”即是此类武器之代表。

“神火飞鸦”用细竹蔑编成，外用绵纸封固，形状似乌鸦，大小如同一只斤把重的鸡那样大。内装火药，外安装 4 支火箭，每个翅膀下各 2 支。把火箭药线总连，并与内装火药的引信相接。点燃火箭，鸦即飞起，可远达 300 多米，火箭药燃尽时点着火药起爆，“火光遍野”。明代著名兵书《武备志》说：“对敌用之，在陆烧营，在水烧船，战无不胜矣。”

（金秋鹏）

## 火龙出水和飞空砂筒

二级火箭和往返式火箭是火箭技术史上的两大发明，二者均产生于 14 世纪、15 世纪时的明代。当时使用的“火龙出水”即是最早的二级火箭，“飞空砂筒”即是最早的往返式二级火箭，开了现代多级火箭和回收式火箭技术之先河。

火龙出水的制作方法是：用长 5 尺（约 1.6 米，火龙出水明代一尺相当于 32 厘米）的毛竹，去掉竹节，使毛竹上下贯通成竹筒，再用铁刀把竹筒刮薄；前端接一个用木头雕成的龙头，后端雕成龙尾状；龙口张开向上，腹内装神机火箭数枚，龙头上留一个眼，将火箭上药线俱总在一处；龙头下两边各装火箭筒一个，火箭筒重一斤半（约 885 克，明代一斤约相当于 590 克），火门下垂，底向上，用麻皮、鱼胶绑定；龙腹内火箭药线由龙头留眼处引出，分开两处，用油纸包裹好，装钉于龙头上，并与龙头下的火箭筒底通连；龙尾下两边亦用火箭筒 2 个，与龙头下的火箭筒一样装缚；把 4 个火箭筒的药线总汇一处，捻在一起，即成。水战时，可离水面 1 米多高处点燃火箭筒，如火龙出于水面，可飞行 1000~1500 米远。火箭筒内装火药将燃尽时，又点燃龙腹内的神机火箭，火箭射出，敌方“人船俱焚”。亦可于陆战时使用。

飞空砂筒分为往返装置和发射筒两个部分。往返装置以薄竹片为身，制



成圆筒，长 2.24 米，筒径 4.8 厘米；上装火箭筒两个，筒口颠倒相向，前筒口向后，后筒口向前；前筒头上装置大爆竹一个，爆竹长 22.4 厘米，径 2.24 厘米，爆竹的药线与前火箭筒内通连，外用夹纸三五层把爆竹与前火箭筒圈包在一处；爆竹的外圈装有毒砂，毒砂用细砂或石粉与毒药炒制而成；毒砂与爆竹封糊严密，若水战用则在顶上装倒鬚枪，若陆战用就不必安装倒鬚枪；后火箭筒药线与爆竹相连。发射筒用大毛竹制成，旧称之为“溜子”。使用时，先点燃前火箭筒，往返装置射出，倒鬚枪刺入敌船帆，并钩住，敌方必齐往救，而爆竹爆炸，毒砂溅洒，伤敌眼睛，其后火箭筒发动，飞回本营，使敌方莫知所以，造成恐慌。飞空砂筒的设计思想确实是巧妙高明，令人赞叹叫绝。

（金秋鹏）

### 水底龙王炮和渡水神机炮

在火器发展史上，可控制爆炸时间的装置是一项很有意义的发明。此项发明着创于明代，水底龙王炮和渡水神机炮是此类武器的早期代表作。

水底龙王炮由铁炮、定时装置、漂流装置 3 部分构成。铁炮用熟铁打造而成，内装炸药，即相当于现代的炸弹。定时装置是此类武器的关键部分，它水底花一三炮是以信香作定时点火之用，信香装在炮上，把信香和铁炮装在牛的膀胱之内，以保证防水和通气。另用羊肠作通气管，下端与牛膀胱相连，上端装在浮标上；羊肠用硝处理过，并夹以粗铁线，以保证在水中成管状，不为水力所压瘪；浮标以木头制成，上插以鹅雁之羽毛，并可在随波漂浮中防水灌入。爆炸时间由信香的长短决定。漂流装置用木板制成，上坠以石块，以控制入水的深浅。把铁炮和定时装置安装在漂流装置上，即成水底龙王炮。对敌时，量敌船停泊处的远近和吃水之浅深，选定信香的长短和下坠石块的轻重，黑夜时顺流放下，炸毁敌船。《武备志》说：“香到火发，炮从水底击起，船底粉碎，水入贼沉，可坐而擒也。”

明代宋应星所著《天工开物》记载有一种称“混江龙”的水下炸弹，其构造与水底龙王炮相类似，只是把发火器用悬吊的火刀、火石代替，上用牵引索控制。拉动索引机构，火刀、火石相击发火，点燃炸弹，即可击毁敌船。

渡水神机炮，是一种可以隔水伤敌的武器。隔水与敌对阵时，若我方兵寡，势不能敌，欲用火攻取胜，则暗中派遣侦察兵，在对岸敌军必经的险隘地段埋藏炸弹，另挖地槽埋藏药信和火种，又用长绳系上药信，垂于火种之旁，绳的另一端牵至我方岸上。当敌人到达埋设炸弹的处所时，牵动长绳，让水底龙王炮爆炸火种点燃药信，炸弹即爆炸。炸弹内装有毒砂（神砂）、毒药（磁屑）、毒火、铅子。《武备志》说：渡水神机炮“神砂着贼，立瞎双睛；磁屑着贼，见血封喉；毒火着贼，立时腐烂；铅子着贼，透腹穿心。”杀伤力巨大。这种武器的关键是药信的装置和火种的制作。药信装于毛竹内，毛竹先剖为两半，中间剝去竹节；药信用矾水处理后晒干的纸包裹，以防湿。火种藏于对合的瓷盆中，瓷盆敲开一眼与竹口相对。火种用铁精、干漆、不灰木、硝、硫等药物合制而成，埋于地下可燃烧一两个月，即使遇到雨水，也不会熄尽管这些武器早已被历史所淘汰，但先人的聪明才智却不能不为人们所钦佩和赞叹。

## 动植物分类

人类生活在自然界，离不开花草树木，禽兽鱼虫。如何认识这纷繁复杂的生物界呢？可以说，利用形态特征和功能用途，把动植物分门别类，加以区别，是人类对于生物认识的基础。中国早在石器时代就开始对动植物进行分类，并逐步形成了具有自己特色的传统分类方法。从世界范围看，历史上的动植物分类法虽然有多种，但总的可以归结为人为分类法和自然分类法两种。中国历史上也曾出现和应用过人为分类法，如早期的本草学著作中，曾人为地分药物（包括动植物）为上、中、下三品，而占主导地位的是自然分类法，并与现代的分类法基本一致。

中国传统分类法的最基本内容，是把动植物分为草、木、虫、鱼、鸟、兽 6 大类。从中国象形文字的起源、发展中，大体上可以看到这一分类方法的形成过程。如带有“草”偏旁的汉字所表示的植物，同属草类；带有“木”偏旁的汉字所表示的植物，同属木类；……带有“豸”、“豸”、“鹿”等偏旁的汉字所表示的动物同属兽类。这一分类法至迟在西汉时已经形成。战国时开始汇集，西汉时成书的中国第一部词典《尔雅》，已有释草、释木、释虫、释鱼、释鸟、释兽、释畜等专门解释动植物名称的篇章。前 6 篇主要包括野生的植物和动物，最后一篇主要讲家养动物。从《尔雅》中动植物名称的排列顺序中，还可看到当时已有比较精细的分类认识。如把山韭、山葱、山薤、山蒜等植物名排在一起，表明它们是同一类的；又如蝉类、甲虫类、蚁类、蜂类、蚕类、贝类、麋鹿类、虎豹类等等，表明当时的分类已具有现代属、科等分类的内容。

西汉之后，传统的分类学不断得到发展，到明代李时珍的《本草纲目》，中国的传统分类学达到了高峰。

《本草纲目》不但是一部中药学的集大成著作，而且是一部生物分类学的经典性著作。李时珍在“析族区类，振纲分目”的思想指导下；对动植物进行了客观的自然分类。他对各种植物的根、茎、叶、花、果实、种子进行了十分细微的观察，并做了分析和比较。在此基础上，他将 1000 多种植物按其自然科属关系进行分类。如在“草”这一大类中，又分为 10 小类，其中芳草、毒草、蔓草、苔草等以性能形态来区别，山草、湿草、水草、石草等以植物生长环境来区别。这一分类方法是比较科学的。直到现在，植物品系和植物带的研究，还是植物分类学上的重要课题。《本草纲目》中对动物的分类，比植物的分类更进一步。书中把 400 多种动物分成 5 种 17 类。以禽部原禽类为例，即可见其分类之精细。原禽类共列 23 种动物，其中的鸡、雉等 12 种禽，都是属于现鸡形目雉科的陆禽，十分接近现代动物学的分类。而且，李时珍是基于动物有一个“从微至巨”，“从贱至贵”的发展过程的认识，把动物分为虫、鳞、介、禽、兽 5 种，最后是人，反映他已具有生物进化的初步认识。

西方植物分类学的创始人林耐的成名著作《自然系统》，出版于 1735 年，只有 12 页，在时间上晚于李时珍的《本草纲目》一个半世纪，内容也远不及《本草纲目》。仅此，即可见及中国古代分类学的成就之一斑。

## 回天之力来自接换

### ——嫁接技术

人们常用唐代诗人白居易《长恨歌》中的诗句：“在天愿作比翼鸟，在地愿为连理枝”来比喻忠贞不渝的爱情。连理枝，又称为木连理，是树木在自然环境下，枝干彼此磨擦损伤后，两个枝于发生自然愈合连结生长在一起的现象。这种现象很早就为人们所注意，汉代的时候就有记载，并认为是吉祥的象征。正是从这种自然现象中，人们受到启发，发明了嫁接技术。

根据汉代农书《汜胜之书》的记载，汉代时期，人们已经将嫁接技术运用于蔬菜生产上面。当时为了长出大葫芦，采用了靠接的方法，将10颗子长出的10根茎，用布捆绑在一起，再用泥封住，几天之后，这10根茎便在捆绑处合在一起了，再通过整枝，把弱枝和不结子的枝条一并去掉，只留下最强壮的一枝结子，这样结出来的葫芦比普通的葫芦要大10倍。现在看来这种方法非常朴实，效果也不一定很理想。但这是有关嫁接的最早记载。也许在汉代人的心目中，葫芦嫁接并不是嫁接，因为当时把嫁接称为“接”，而根据《说文》的解释，是指“续木”即木本植物的嫁接。事实也是如此，中国古代运用嫁接技术最多的是果树，果树中又以梨的运用最早也最为普遍。

北魏时期，农学家贾思勰著的《齐民要术》一书中，有“插梨”一篇，专门介绍接梨的具体方法嫁接需要有砧木和接穗。砧木和接穗的好坏，对于嫁接的成活率，结果的早晚、多少和品质都有影响书中提出接梨的砧木有5种，这5种砧木是棠、杜桑、枣、石榴。5种之中棠接梨最好，结出的梨果大肉质细嫩，杜差一些，而桑最差。接枣和石榴能结出好梨，但成活率低，10株之中，只能成活一二株。书中提出适宜作接穗的只有优良梨树向阳的枝条，其他如阴中枝、鸠脚老枝（多年生果台枝）、根蒂小枝等都不宜，否则结果少、迟，而且树形也不好看。嫁接的时间也有讲究，书中提出：“梨叶微动为上时，将欲开葶为下时。”也就是说，以梨树叶芽刚刚冒出的时候为最好。书中详细地介绍了插梨的方法，从做砧木和接穗，插入之后的封泥、浇水、覆土等都做了反复缜密的交代，并有具体的要求，如“木边向木，皮还近皮”，一语道出了嫁接成功的关键。

从插梨可以看到，中国的嫁接技术到魏晋南北朝时期已经达到了相当精湛的地步，这为以后嫁接技术的广泛运用奠定了基础。隋唐宋元以后，嫁接技术被广泛地用来改造花木和果品的形状、颜色和品质。如樱桃接砧梗，则成垂丝；梨树接砧梗，则成西府；柿接桃则为金桃，梅接桃则脆；桑上接杨梅则不酸；李接桃则为李桃；桃树接杏则大；还有海棠色红，以木瓜头接之则色白。对此，清代有人做了很好的总结，说接换树木“花小者可大，瓣单者可重，色红者可紫，实小者可巨，酸苦者可甜，臭恶者可馥。是人力可以回天，惟在接换之得其传耳。”

随着嫁接技术的广泛运用，嫁接技术本身也得到了很大的发展。唐代已认识到种子形态相似的，嫁接时容易成活，元代嫁接方法已增加到了6种，有身接、根接、皮接、枝接、靛接和搭接。明代则总结出“接树三诀”：第

一，树青；第二，就节；第三，对缝。这标志着中国的嫁接技术在明清时代又有了很大的提高。

(曾雄生)

## 马十驴=骡

### 杂交优势的利用

我们的祖先很早就将杂交优势用于动物生产。我国北方少数民族地区的游牧民族利用马驴杂交产生杂种后代骡和（音 juétí），并开始输入内地。秦汉统一以后，随着内地与西北边疆少数民族地区联系的日益加强，原产于西北地区的驴骡大量引进到中原地区，促进了内地驴骡业的发展和对驴马杂交优势认识的提高。北魏贾思勰《齐民要术》将骡称为“羸（音 luó）”，而将称为骡。对于驴马的杂交有如下的叙述：“羸，驴覆马生羸，则准常。以马覆驴，所生骡者，形容壮大，弥复胜马。然必选七八岁草驴，骨目正大者，母长则受驹，父大则子壮，草骡不产，产无不死。”也就是说，公驴配母马所生的羸，杂种优势不太明显，而公马配母驴所生的骡子则优势明显，而要做到这一点，则必须对母驴有所选择，要求齿龄七八岁，而且骨盆大的，然后所生骡子才具有优势。说明当时不仅认识到马驴杂交具有优势，而且注意到杂交优势与母体间的关系。

古代杂交不仅运用于马驴之间，还用于其他动物身上。如牦牛和黄牛的杂交，家鸡和野鸡的杂交，番鸭和麻鸭的杂交，以及家蚕雌雄之间的杂交等等。

明代叶盛在《水东日记》中提到：“牦牛与黄牛合，则生犏牛。”牦牛原是一种凶猛的野牛，在青藏高原被驯化后，成为藏族人民最重要的家畜。在藏族和周围各族的交往中，他们引进了黄牛品种，然后与当地的牦牛杂交，产生了犏牛。犏牛保留了牦牛的优点，但其性情之温顺，肉味之鲜美，产乳量之高，驮运挽犁能力之强，以及对于气候变化的适应性等方面，均远胜于牦牛，赢得了藏族人民的喜爱。

和驴马的杂交一样，犏牛因其杂交父母的不同而其杂交结果也不同。以黄牛为父本的杂交一代犏牛，叫真犏牛，而以牦牛为父本的杂交一代犏牛，称为变犏牛。真犏母牛再与雄性黄牛或牦牛进行回交，能产生第二代杂种后代，称阿果牛。阿果牛的父本如果是黄牛，则毛短不能御寒；如果是牦牛，则毛长耐寒性较强。第二代杂交的阿果牛不及犏牛优秀，但是仍比黄牛和牦牛的使役、肉用，以及抗病性能要强，经过五代回交，则与原始父母代的性能相似，无杂交优势可言。

占代还将杂交优势运用于蚕种生产。明代科学家宋应星在《天工开物》中提到：“今寒家有将早雄配晚雌者，幻出嘉种，一异也。”所谓早雄配晚雌就是指用一化性的雄蛾与二化性的雌蛾杂交，通过人工选择培育出新的良种。该书中还记载：“若将白雄配黄雌，则其嗣变成褐茧。”

当然古人在杂交优势的利用方面也有一些不成功的例子。如，古人将家鸡与野鸡杂交繁殖出夷鸡，夷鸡并没有改变野鸡原有的野性，也就没有得到推广。同样，用番鸭和麻鸭杂交，出生杂交后代“半番”，“半番小于

番鸭”，说明杂交后代的体格未见杂交优势。

无论是成功，还是失败，都表明中国古代人民在杂交优势利用方面积累了丰富的经验，不断开辟着杂交优势利用的途径。

(曾雄生)

## 双手劈开生死路，一刀割断是非根”

### ——去势术

“双手劈开生死路，一刀割断是非根”，据说这是明代开国皇帝朱元璋为从事禽兽阉割的兽医所写的一幅对联，短短的14个字将阉割术表达得淋漓尽致。然而您知道阉割术的历史吗？您知道它在世界上的影响吗？

在丹麦王国哥本哈根农牧学院所筹建的一所兽医博物馆里，陈设有4000多件兽医器械，其中一件是用于出生后3周龄小猪阉割的工具，它是18世纪末由瑞士商人从中国带去的。后来瑞士的一位兽医赠给了丹麦农牧学院的埃瑞克费鲍科教授。1807年，该教授撰文介绍了这把中国的阉猪器械。哥本哈根农牧学院兽医系主任弗雷德里克·埃尔文哥教授就此指出，中国人民高度发展的文明，在很多方面领先，走在欧洲文化之前。中国和欧洲之间很早就有接触。中国兽医器件的发现，说明中国器械的制造对欧洲同类器械的制造有影响。

阉割术称为“去势”，但严格说来，阉割只是去势的一种，因为有些去势并不需要动刀阉割，如无血去势术。最早接受去势的大概是马，《周礼》中有关于“攻驹”和“攻特”的记载，即是指给马做去势手术，但当时是如何给马做去势术的呢？有人根据对商代甲骨文字的考证，认为是用绳索或皮条为套，将马势去掉。果真如此的话，商周时期的攻特、攻驹和北魏时期的剩（骗）羊法则有相似之处。据贾思勰《齐民要术》的记载，剩羊法是在小羊生下10余天时，用布裹着睾丸掐断精索。这就是所谓的“无血去势术”。但从后世的经验来看，给马去势的方法主要有2种，明代兽医大师喻本元、喻本亨在其所著的《元亨疗马集》中，分别称之为火骗法和水骗法。这两种方法都是在阉割的基础上进行的。火骗是采用烙铁，一次烙掉两根精索，再使用烙铁，烧烙精索的断端以止血。水骗法则是按压精索，前后反复捻搓，一方面压迫止血，一方面使精索从最细处自行断裂。据说火骗法始于黄帝时的董仲元，到了楚汉分争时，大将韩信，因营中军马多患热症，便将火骗法改为水骗法，使去势技术又向前迈进了一步。

阉割术除用于马之外，也用于其他的家畜家禽。前面所说的剩羊就是一例。晋朝的葛洪在其所著的《肘后救卒方》中除骗马、羯羊之外，还有宦牛、阉猪、缴鸡、净猫等记载。到了明代李时珍的《本草纲目》中，各种经过去势处理的家畜都有了专门的名称，如牛称为犍、狗称为猗等。一般说来，去势主要是针对雄性家畜而言，而目前在我国民间流行的阉猪，还包括小母猪卵巢（俗称为“桃花”）摘除。这种阉割术，手术简便，安全可靠，久已闻名于世，而据有关专家的研究，这种技术最早也是见于商代甲骨文中，至今已有3000多年的历史。

(曾雄生)

## 生物防治

据一本古书《南方草木状》的记载，在南方经常可以看到。有人手提着一种口袋上街叫卖，这种口袋是用席子做成的，口袋中放有许多树枝树叶，枝叶上挂着虫茧，虫茧看上去就像是薄絮，里面裹着一种虫蚁，这种虫蚁颜色为赤黄色，比普通的蚂蚁要大一些，卖的时候连同薄絮一起卖掉。至此，你也许要问，有谁会去买这玩意呢？买它干什么呢？原来，南方盛产柑桔，柑桔树上有一种害虫，专门为害果实，买这种虫蚁就是为了去防治这些柑桔害虫，如果没有这种虫蚁的话，桔子会被害虫吃得无一完好。这种利用虫蚁防治柑桔害虫的记载，就是已知最早的生物防治。

生物防治本是一个非常现代化的名字，它是指利用某些能寄生于害虫的昆虫、真菌、细菌、病毒、原生动物、线虫以及捕食性昆虫和螨类、益鸟、益兽、鱼类、两栖动物等来抑制或消灭害虫，利用抗生素来防治病原菌，即以虫治虫、以菌治虫、以菌制菌、以菌治病。在中国历史上，除了用蚁防治柑桔害虫以外，还有很多利用益鸟和青蛙防治害虫的例子。从人们对于益鸟和青蛙的保护中，就可以看到古人对于生物防治的利用。如公元948年夏，有一群鸚鹄飞来，吃掉了一片蝗虫，接着皇帝便发布诏令“禁捕鸚鹄”。

然而对于益鸟和青蛙的利用或多或少具有一定的偶然性。于是，人们又从益鸟吃虫中得到启发，发明了养鸭治虫。明代陈经纶在《治蝗笔记》中就详细地记载了他发明养鸭治蝗的经过。陈经纶对于中国农业有着重大的贡献，他曾经从吕宋把甘薯引种到福建进行试种，以后又积极致力于在各地推广甘薯种植。养鸭治蝗便是他在推广甘薯种植的过程中发明的。1597年，陈经纶在教人种甘薯时，看到天边飞来了一群蝗虫，把薯叶全给吃光了，一会儿又飞来了几十只鹭鸟，把蝗虫又给吃掉了。他从中受到启发，认为鸭和鹭食性差不多，于是便养了几只鸭子，放在鹭鸟活动的地方，结果发现，鸭子吃起蝗虫来，比鹭鸟又多又快，于是就号召当地老百姓大量畜养家鸭。每当春夏之间，便将鸭子赶到田地里去吃蝗虫。后来，这种方法果然成为江南地区治蝗的重要方法之一，不少的治蝗专书中也都提到了这种治蝗的办法。明清时期，养鸭还不仅用来治蝗，同时还用来防治螞蟥。螞蟥，是螃蟹的一种，它以谷芽为食，因此，成为稻田害虫之一。明代，珠江流域地区的人们已开始养鸭来防治螞蟥对水稻的为害。养鸭治虫，不仅可以消灭害虫，保护庄稼，同时还能够促进养殖业的发展，取到化害为利的效果，是中国生物防治史上一项了不起的发明。

(曾雄生)

## 两利俱全十倍禾稼的人工生态系统

### ——桑基鱼塘

明朝中叶，在江苏常熟地区有一个名叫谈参的十分善于经营。原来人们为了防止水害总是想低洼的地方填起一些来，他来一个反其道而用将低洼地

挖成塘，用于养龟。挖出的土堆成堤岸，岸上种果树。池塘边种茭白等水生蔬菜，池塘架起了猪圈，用于养猪。这样养猪又可以占有耕地，猪粪直接掉进池塘喂鱼。堤外农田种植水稻，通过水塘的排灌，又可做到旱涝保收。由于经营得法，谈参一家的农业收入比别的农民提高了3倍。副业的收入又比农业的收入多了3倍，一下子成了远近闻名的大富翁。他的这种做法由于用地少而获利多，很快就在地势低洼的太湖地区和珠江三角洲地区推广开来。有的是以农副产品养猪，以猪粪肥田；有的是以青草、桑叶养羊，以羊粪壅桑；还有的是以鱼养桑，以桑养蚕，以蚕养鱼。其中最典型的的就是珠江三角洲地区的桑基鱼塘。

珠江三角洲地区是广东主要的产粮区，但全区有1/3的耕地属于低洼地区，水患严重。为了克服这个不利的因素，当地人民便采用了一种基塘的生产方式，把低洼地挖深为塘，挖出的土覆于四周筑成塘基，使基的地势增高，土层增厚，以解除水浸内涝的威胁，而塘则可以养鱼。起初基上所种的主要是一些荔枝、柑桔、龙眼和香蕉等南方水果，称为“果基鱼塘”，后来由于受商品经济和对外贸易的影响，果基鱼塘发展为桑基鱼塘。

所谓桑基鱼塘，据广东《高明县志》的记载，其办法是将低洼地挖深变成水塘，挖出的泥堆放在水塘的四周为地基，基和塘的比例为6:4，即6份为基，4份为塘，基上种桑，塘中养鱼，桑叶用来喂蚕，蚕屎用以饲鱼，而鱼塘中的塘泥又取上来作桑树的肥料。通过这样的循环利用，取得了“两利俱全，十倍禾稼”的经济效益。

桑基鱼塘是中国水乡人民在土地利用方面的一种创造，也是中国建立合理的人工生态农业的开端。它既能合理利用水利和土地资源，又能合理地利用动植物资源，不论在生态上，还是在经济上都取得了很高的效益，赢得了世界注目。联合国大学副校长、国际地理学会秘书长曼斯·哈尔德，在参观珠江三角洲的桑基鱼塘以后就曾说过：“基塘是一个很独特的水陆资源相互作用的人工生态系统，在世界上是很少有的，这种耕作制度可以容纳大量的劳动力，有效地保护生态环境，世界各国同类型的低洼地区也可以这样做。”

（曾雄生）

## “侏造化，通仙灵”的奇迹

### ——温室栽培

话说两千多年前，还是在秦始皇统治时期，有一年冬天，秦始皇密令在骊山（今西安）种瓜，说来也神，还真结果了。这件事传出之后，大家都不敢相信，尤其是那些食古不化的儒生，他们总认为自己读的书多，从来也没有听说过冬天种瓜能结果的事。说实在的，冬天气候寒冷，在自然条件下，要想种植蔬菜是很困难的。只是到了现代，由于采用了地膜覆盖、温室栽培，冬天种瓜才有可能。这也难怪有些儒生将信将疑。于是秦始皇就命令这些儒生博士到实地看一看，眼见为实，耳听为虚。谁曾料想，这些博士儒生的好奇心却给他们带来了杀身之祸。原来秦始皇在消灭6国以后，采取了专制独裁的统治，引起了人们的怨恨，因此，经常有人在背后对他说三道四，这其中尤以儒生们的议论最多。为了消灭这帮儒生，秦始皇采纳了李斯等人提出

的焚书坑儒的建议，于是导演了这出惨剧。秦始皇令秦军在骊山附近设下埋伏，当这些儒生满怀着好奇心来看瓜时，遭到了早已等候在那里的秦军的重重包围，结果七百多人被乱箭射死。这是继 400 多儒生被活埋之后，又一次惨绝人寰的大屠杀，而这次大屠杀的杀机竟藏在冬天种瓜的奇迹之中。

那么，冬天种瓜在秦朝是否是可能的呢？首先，我们知道，秦始皇冬天种瓜的地点是骊山，骊山附近有着丰富的地热资源，著名的游览胜地华清池就有其中的一处温泉。利用温泉形成的小气候进行冬季蔬菜的促成栽培是很有可能的，至少这种可能在代已成为现实。有唐人王建的诗为证，“酒幔高楼百家，宫前杨柳寺前花。内园分得温汤水，二月中旬已进瓜。”当时政府还设有专门的机构“温汤监”来负责该项业务。因此，从地理位置和后来的历史来看，秦时冬天种瓜的可能性很大。

但是仅仅利用温泉种瓜似乎还是不够的，还必须有一定的遮盖才能成为现实。因为西安冬季气温一般都在摄氏零下 10 多度，如果地面无任何覆盖的话，地温再高，种的瓜类虽能长出地面，而植株裸露在摄氏零下十几度的环境中，也是无法成活的，根本谈不上开花结果。这种遮盖就是最早的温室。据此推测，我国的温室最早出现于秦朝。

然而，有关温室最早的确切记载则是在汉代。汉元帝时，曾在长安城里的大官园中，种葱、韭、菜茹。为了使这些蔬菜在冬天也能正常生长，当时采取了一种方法，即盖一座屋庑，在里面昼夜燃火，以提高室内的温度，当温度上升到一定程度以后，各种蔬菜就正常生长起来了。据文献记载，汉代时利用温室栽培蔬菜已相当普遍。不过当时人们对此还是有些疑虑，认为通过温室栽培出来的蔬菜之类，是“不时之物”，而食用这种不时之物，可能对有害，于是朝廷一度下令禁止食用温室栽培出来的作物。

但是青山遮不住，毕竟东流去。温室栽培在汉代以后，继续得到发展。除用于蔬菜栽培以外，温室还广泛地运用于花果栽培。最有名的当属堂花术。这种花卉栽培技术在宋代即已出现，一直沿用至今，今天在北京中山公园的唐花坞就是从堂花发展过来的。堂，起初是一个用纸做成的房子，里面开有沟，沟中倒上热水，以增加室内的温度和湿度，还粪上牛溲和马尿，以及硫磺，增加土壤肥力，同时提高室温，通过这种办法来促使堂中栽培的花卉提前开放。这种栽培方法，在当时被看做是一种“足以侔造化，通仙灵”的奇迹。温室栽培的结果，更使得“元旦（即春节）有牡丹、有新瓜……其他花果无时无之”，大大丰富了人民的生活。

相比之下，温室在欧美的出现要晚得多。西欧的温室栽培出现在 18 世纪初叶，称为“绿色的房子”，美国则是在 1880 年才开始有了温室栽培。中国的近邻日本也是在 1830~1840 年才开始有了温室。有趣的是日本的温室称为“纸屋”，说不定还是受到堂花术的影响呢。

（曾雄生）

## 养蚕技术

公元前 1 世纪的某一年的某一天，罗马皇帝凯撒，穿着丝绸袍服到戏院看戏，引起了全场轰动，个个羡慕至极，被认为是绝代的豪华。此后人们竞相仿效，一时间丝绸成为当时最为流行的服装面料，罗马城里的男女贵族无



不以穿上丝绸为荣。此风一长，绵绵数百年之间，罗马贵族对于丝绸的喜爱有增无减，可是，罗马本国并不出产丝绸，当时他们所穿的丝绸是经过许多中间环节，不惜重金，从遥远的赛里斯国（中国）进口而来的。对于丝绸的极度需求，使得大量黄金外流，甚至于威胁到罗马帝国的统治。为此，罗马皇帝曾三令五申禁止穿着丝绸，但每一次的诏令都如一纸空文，并未能阻止罗马贵族对于丝绸的狂热。

眼见这股丝绸狂热势不可挡，6世纪中叶，罗马皇帝查士丁尼为了防止黄金大量外流，想方设法要到丝绸的故乡中国来移植蚕种、桑种，以便自己来发展蚕丝业。可是中国古代的蚕种和养蚕方法是绝对保密的，于是罗马人为了种桑养蚕还颇费了一些苦心。据说有一次，有个传教士叩见查士丁尼皇帝，他自称到过中国，能够搞到蚕桑种，经过一番巧舌如簧般的游说，终于取得了皇帝的信任，不仅给了他足够的路费，还许诺事成之后给予重赏。这个传教士长途跋涉到了中国，在民间弄到了桑子和蚕种，并藏于拐杖里，蒙混过关，急忙赶回东罗马，皇帝看到桑蚕种之后，不禁喜形于色，给这位传教士予重重的嘉奖，朝廷内外一片欢腾。可是传教士把蚕种和桑种记混了，竟把蚕种当桑种撒在地里，而把桑种当蚕种捂在怀里。一次费尽心机而又历经千辛万苦的引种就此失败了。这个消息传到了几个正在东罗马帝国首都君士坦丁堡的印度僧侣那里，他们向皇帝献策，自称曾在中国住过，并用心研究过中国养蚕的方法，表示他们有办法使罗马境内也生产蚕丝。皇帝觉得有理，答应成功之后重赏他们。于是这些印度僧侣先由居住在中国的印度人将蚕种秘密传到印度，公元552年（一说536年）由印度游方僧人献给查士丁尼。这一次总算成功了，罗马也因此成为欧洲第一个养蚕的国家。其实，中国的丝绸很早就已进入欧洲，在德国就曾经出土有公元前四五世纪时的丝织物。但是蚕桑进入欧洲却很晚，而且并不普遍。16世纪中期，蚕丝还只是在英国贵族中使用，伊丽莎白皇后开始穿上丝袜，直到16世纪末，蚕丝生产技术才传到法国和英国。

在蚕桑丝织技术传入西方以前，中国已经有了数千年蚕桑生产的历史。1926年，考古学者在山西夏县西阴村新石器时代遗址中，就发现了一个半割的蚕茧，年代距今五六千年；1958年，又在浙江吴兴钱山漾新石器遗址中发现了一批丝织物，有绢片、丝带和丝线，年代距今约5000余年。而在距今3000多年前的殷周时代，中国的蚕业已经进入到野蚕开始在室内驯化饲养的阶段，当时在黄河中下游地区已经有成片的桑田。从《诗经》中可以看到，采桑已成为姑娘们主要的生产活动。而到了距今2000多年前的汉代，中国的蚕桑丝织技术已达到了相当精湛的地步。在长沙马王堆西汉墓中出土的一件素纱禅衣，衣长128厘米，袖长190厘米，而全部的重量却只有49克，不足一两。令人拍案叫绝。

由于中国的丝织品大量进入国际市场，并成为国际贸易的大宗商品，因此，连结中西方的商道，便被称为“丝绸之路”。而这条丝路的起点，则是被西方人称为“赛里斯”（意即丝国）的中国。

（曾雄生）

分行栽培

原始农业时期，人们采用点播和撒播的方式，将种子种在地里，这样长出来的庄稼就像是满天的星斗。18世纪以前的欧洲仍然盛行这种栽培方式，而在中国，早在先秦时代农业生产就已出现了分行栽培。分行栽培是随“亩畎（音 g u n）法”发展起来的。亩，就是垄，起垄时挖土而成的沟，叫做“畎”。垄沟有一定的行向，分行栽培就是在亩畎上实施的。当时将行称“役”，而禾就种在这役中，《诗经》中有“禾役穞穞（音 Sui）”的诗句。说明分行栽培的庄稼长势良好。战国时期，亩畎法已趋于完备，分行栽培也已完全形成。当时人们已经认识到，分行栽培有利于作物的快速生长，因此在播种时要求做到横纵成行，以保证田间通风。当时对于行距和株距都有严格的规定，根据成书于战国末期的《吕氏春秋·辩土》的记载，战国时期的行距为一尺（约合今 23 厘米），株距为六寸（约 14 厘米）。

垄作之初虽着眼于排涝和保墒，分行栽培是适应垄作的需要而出现的。但分行栽培的意义远远超出了排涝和保墒。首先分行栽培有利于中耕除草。夏、商、西周时期，中耕除草的出现与垄作、分行栽培的出现有着密切的关系。《诗经·小雅·甫田》说：“今适南亩，或耘或耔，黍稷薿薿（音 n）”。南亩，即实行垄作分行栽培的田亩；耘，即除草；耔，即培土；薿薿，即庄稼长势良好的样子，说明中耕除草培土是在垄作和分行栽培的基础之上进行的。这种情形在后来南方稻作中反映更加明显，如果没有分行栽培，是无法进行水田耘耔的。因为耘耔时，必须以手和脚在稻株的前后左右作往返运动，因此在插秧时，行距与株距就必须有具体的规定，而且务求“窠行整直”。

分行栽培还影响着农业技术的进步和农业工具的改进。汉代代田法和耨犁的出现就是以分行栽培为前提的。代田法即在地里开沟作垄，沟长与田亩长相同，庄稼播种在沟中，出苗后成为 3 行。明年又在各行相邻的位置开沟起垄，依法播种，自然又是 3 行。耨车的出现实际上是为了配合代田法的实施而发明的。耨车有 3 个耨脚，3 个耨脚可完成同时开沟、下种、覆土的作业，大大提高了播种效率。同时，还能保证行距一致，提高播种的质量。由于耨播能够保证行距一致，这又为农具发展提供了条件，元代出现的耨锄，就是配合耨播而出现的一种畜力中耕农具。可以说，如果没有分行栽培，也就没有代田法等一系列的耕作栽培技术，和与之配套的农具。

在欧洲，分行栽培是 18 世纪 30 年代随着畜力条播器和畜力中耕锄的发明才开始的，这同时也是欧洲农业技术革命的标志之一。而所谓的畜力条播器和畜力中耕锄，不过是中国耨车和耨锄的翻版。畜力中耕锄是在畜力条播器基础上发明的，这和中国的耨锄和耨车一样，欧洲畜力条播器由一头牲口（马）牵引着一架播种器，播种器上有 3 个脚，3 个脚同时播种 3 行，和中国汉代的耨车毫无二致。可是中国的耨车比起欧洲的畜力条播器早 1800 余年。问题还不在于此，人们要问：为什么 2000 多年前，中国老祖宗发明的耨车，在 200 多年前传入欧洲时，引发了欧洲农业技术的一场革命，而中国农业技术在此之后，反而落后于欧洲的发展？历史记载着祖先的光荣，也留给后人深深的思考。

（曾雄生）

茶香悠悠话茶史

“开门七件事，柴米油盐酱醋茶”，茶是中国人民日常生活中不可缺少的一件大事。说起茶，自然要想到“茶神”陆羽。唐开元年间，复州竟陵（今湖北天门县）龙盖寺僧人收养了一个弃婴，他就是后来大名鼎鼎的“茶神”，世界第一茶叶专著《茶经》的作者陆羽。

陆羽的《茶经》的出现并不是偶然的。中国是茶树的原产地，是茶的故乡。我们的祖先不仅在世界上最先发现了茶的效用，也最早发明了茶叶加工技术和把茶树驯化培育为一种重要的栽培作物。中国的南方是野生茶树种的故乡。根据《茶经》记载，茶是南方之优良树种，在巴山、峡川一带有两人合抱的大茶树。早在神农时代，我们的祖先就已开始了茶的饮用。有关古籍的记载，表明四川巴蜀一带是最早的茶叶产区。这里在周代统治时期，即将茶叶作为贡品，而在汉代的时候，这里已经出现了茶叶交易市场。

到了陆羽生活的唐代，茶叶生产、茶叶加工和饮茶习俗已相当普及，茶叶产区也由原来的西南一隅，扩展到长江流域的广大地区。《茶经》按照当时的行政区划，划分为八大茶叶产区，人们对于茶树的生理、生态也有了较深的认识。《茶经》指出，茶树宜“阳崖阴林”，“其地，上者生烂石，中者生砾壤，下者生黄土。”茶树种植的普及，促进了茶叶栽培技术的提高。与此同时，茶叶加工和饮用的方法也发生了一些改变。最初饮茶是将采集的野生茶叶放入水中煮沸后饮用，到了唐代则出现了饼茶。据《茶经》记载，饼茶是采来茶叶后，先放入甑中蒸，再用石臼、木杵捣，拍打成饼，焙干后，用荻（芦苇）和蔑（竹条、竹片）穿起来封存。唐代还出现了一种新的茶叶加工方法，即散茶法，将茶叶微蒸之后，摊晾，用手揉捻，烘干，饮用时随时冲泡。这种方法在宋元以后成为中国最主要的茶叶加工方法。

也就是从唐代起，中国的茶叶开始香飘万里。当时，西北边疆地区的一些少数民族，纷纷驱赶着马匹，来到中原地区换取茶叶。开展茶马互市。与此同时，中国的种茶和制茶技术，也开始飘洋过海，传到了日本和朝鲜。到了明清两代，茶叶则开始传到欧洲和世界各地，成为风靡全球的三大饮料（茶、咖啡、可可）之一。今天，在面临着各种洋饮料的冲击面前，茶叶仍以其独特的功效，占有相当大的市场，各种减肥茶、降脂茶和降压茶的出现就是一个明证，而且随着人们生活水平的不断提高，环保意识的增强，茶叶作为一种饮料必将继续受到人们的青睐。

（曾雄生）

## 水果保鲜

“长安回望绣成堆，山顶千门次第开。一骑红尘妃子笑，无人知是荔枝来。”这是晚唐著名诗人杜牧写的一首咏唱千古的名诗，说的是唐天宝末年，唐玄宗宠爱杨贵妃，杨喜食荔枝，朝廷不惜动用驿马从千里迢迢的南方运送新鲜荔枝的故事。采用特快专递，目的在于保鲜，但其代价是非常昂贵的。据史书记载，当时为了运送荔枝伤了很多人马，因此只有极少数的人才能享用。

事实上，在唐代以前，人们就尝试着各种各样的果品保鲜方法。最初的方法可能是将采摘后的果品藏起来。藏的地方因人而异，有的盖在大小两碗之中，有人放在缸中，有的将樱桃放在毛竹筒中，有的埋在土中，有的将桔

子藏在绿豆中，但更多的是放在窟窿（窖）中，这种方法称为窖藏法。

根据《齐民要术》的记载，古人已将窖藏法用于梨和葡萄的保鲜，结果使秋天收的梨一直可以吃到第二年夏天，而夏天收的葡萄则可以吃到冬天。为了提高保鲜效果，人们还将冰块放入地窖中，在冰窖中存放果品，即今天人们所说的“冷藏”。据说这种方法，早在诗经时代就已采用，当时已有专门贮藏冰块的冰窖，称为凌阴，而凿冰和贮冰则是冬日的一项主要活动。明代北京城里有用冰窖来贮藏苹果，到春天上市时，还“如初摘于树”。但是当时对于冷藏的温度还控制不好，冷藏时间一长，往往冻坏，因此，有些苹果尽管出窖时，如初摘于树，但一离开了冰，则化如泥，失去了保鲜的作用。

和冷藏相联系的还有一种冻藏，宋代已用这种方法来保鲜梨和柑桔等果品。当时有人在出使到北方的辽国时，就利用这种办法，把一些南方出产的水果带到了北方。

除了在贮藏过程中的保鲜以外，古人还考虑到了运输过程中的保鲜问题。据史书记载，隋文帝爱吃一种黄柑，这种黄柑产于四川，可是要想将黄柑鲜果从四川运到长安，在古代那种交通条件下，还真不是一件容易的事。有人想出了一个办法，将黄柑的蒂用蜡封起来，献给皇上。这一方法果然见效，经过涂蜡处理的黄柑，过了很长的时间仍然保持新鲜，皇上自然高兴不已。这种保鲜方法，现代称为涂蜡保鲜。在国外，对这种保鲜方法的研究开始于本世纪的二三十年代，而投入到商业运用则是近一二十年的事。而在中国，涂蜡保鲜的运用，比世界各国早 1300 多年。除了在隋代已用于柑桔保鲜以外，宋代已用于樱桃保鲜，明代则用于葡萄保鲜。

再来说荔枝保鲜。杨贵妃采用特快专递运送荔枝也是没有办法的办法。因为荔枝不耐藏，自古以来就有“一日色变，二日香变，三日味变，四五日外，香、色、味皆去矣”之说。宋代时，人们已对荔枝的保鲜作了种种尝试，并取得了重大的突破。起初主要通过加工来保持荔枝的食用品质。宋代蔡襄在《荔枝谱》中记载了 3 种加工方法，红盐法、日晒法和蜜煎法。后来人们将涂蜡保鲜技术加以发展，用于荔枝保鲜，方法是在小暑节时，将荔枝摘下，用黄蜡封蒂，浸泡在蜂蜜中，蜂蜜装在锡瓶中，锡瓶放置在盛水的木箱中，木箱每日换水一次，经过蜡、蜜、瓶、箱、水的层层保护，使荔枝保持新鲜，久而下坏。但这种保鲜方法的主要问题是工本太高，纯为向朝廷进贡之用。到了明代又出现了一种简便的荔枝保鲜方法，这就是活竹贮荔。据记载，活竹贮荔方法是：在竹林中选一大竹子，在竹子上开一口子，将新鲜的荔枝放进去，然后再用竹笋皮将口裹上，用泥封紧，据说用这种方法来保存荔枝，可以保存到冬春时节，仍然色香不变。

（曾雄生）

“ 从人牵引或去留任水深浅随上下 ”

——最早的人造耕地

五代时期，有一本书，书名叫做《玉堂闲话》，书中讲到过这样的一个小故事，说的是广州番禺县，有人拿着状纸到县衙门告状，说几天前的一个晚上，他的一块菜地被人盗走了，现已发现这块菜地就在某处，请县官大人为

民做主，追回被盗的菜地。县官大人心想，本县上任以来，大大小小的案件，也审理过不少，像这样的案子还是头一回听过。再说，跑得了和尚，还跑不了庙呢。哪有菜地被盗走之理，莫不是要欺骗本县不成。于是将案子搁置下来，不予审理。后来又接到了多起类似的案子，这位县太爷才觉得其中一定有蹊跷，下决心一定要调查个水落石出。经这位县官大人的调查，原来这个被盗走的菜地是一种飘浮在水面上的，由泥沙自然淤积水草根部分而形成的，并由人工加以开垦利用的人造耕地浮田。浮田大约在晋代即已出现。当时的《南方草木状》一书有记载：“南人编苇为筏，作小孔，浮于水土，种子于中，则如萍根浮水面，及长，茎叶皆出于苇孔中随水上下，南方之奇蔬也。”

早期的浮田称为“葑田”，葑是丛生于浅水湖泊边缘的多年生草本植物菰的宿根和茎，它们经过多年的生长，聚结纠缠在一起，形成一层厚厚的夹有少许泥沙的根茎“垫子”，浮在水面。后来，有人在这个“垫子”上种上了水稻和蔬菜，这就是最初的浮田。东晋著名学者郭璞写过一篇《江赋》，其中有“标之以翠翳，泛之以游菰，播匪艺之芒种，挺自然之嘉蔬”等句。赋中“泛之以游菰”，指的就是漂浮在水面上的由菰草（茭白草）根在风沙作用下，自然交结而成的浮田，“芒种”和“嘉蔬”，则指的就是长在浮田上的水稻。

北宋时浮田的利用得到较大的发展，苏颂的《图经本草》中说“今江湖陂泽中皆有之，即江南人呼为菱草者。……二浙下泽处，菰草最多，其根相结而生，久则并浮于水上，被人谓之菰葑。割去其叶，便可耕治，俗名葑田。”与此同时，人们从自然形成的葑田中得到启发，做成木架浮在水面，将木架里填满带泥的菰根，让水草生长纠结填满框架而成为人造葑田。

宋代时，千顷碧浪的风景名胜杭州西湖曾经漂浮着这种葑田。隐居在西湖孤山上的林逋（林和靖）在一首咏西湖风景的诗中说：“阴沿画轴林间寺，零落棋枰葑上田。”说明当时西湖上葑田就像棋盘格子一样漂浮在湖面上。以后，西湖葑田发展越来越快，湖面越来越小，灌溉能力越来越小，甚至连市民生活用水也成问题，最终成为一大隐患。有见于此，苏东坡到杭州任通判的时候，向上级写了一份报告，提出了开挖西湖的请求。于是便招募民工，将葑田挖起，堆积成长堤，后人称之为苏公堤，这就是今天的苏堤。但是，开挖西湖并没有阻止葑田在江南地区的发展，到了南宋时期，葑田在江南水乡已较为普遍了。南宋诗人范成大的《晚春田园杂兴》诗中就有“小船撑取葑田归”的诗句，说的是当时江苏吴县一带水上架田的情景。

的确，散落在江湖之上的片片葑田就像是一排排小舟，为了防止它们随波逐流，人为偷盗，人们往往用绳子将其拴在河岸边；而有时为了防止风雨拍打，毁坏庄稼，人们又将其牵走，停泊在避风的地方，等风雨过后，天气好转，再把它们放回到宽阔的水面。到了元代人们才将这种“从人牵引或去留”的葑田，称之为“架田”。农学家王祯在《农书》中说，“架田，架犹筏也，亦名葑田”。架田，虽然也称作葑田，但架田已突破了葑田的限制，而成为真正意义上的人造耕田。

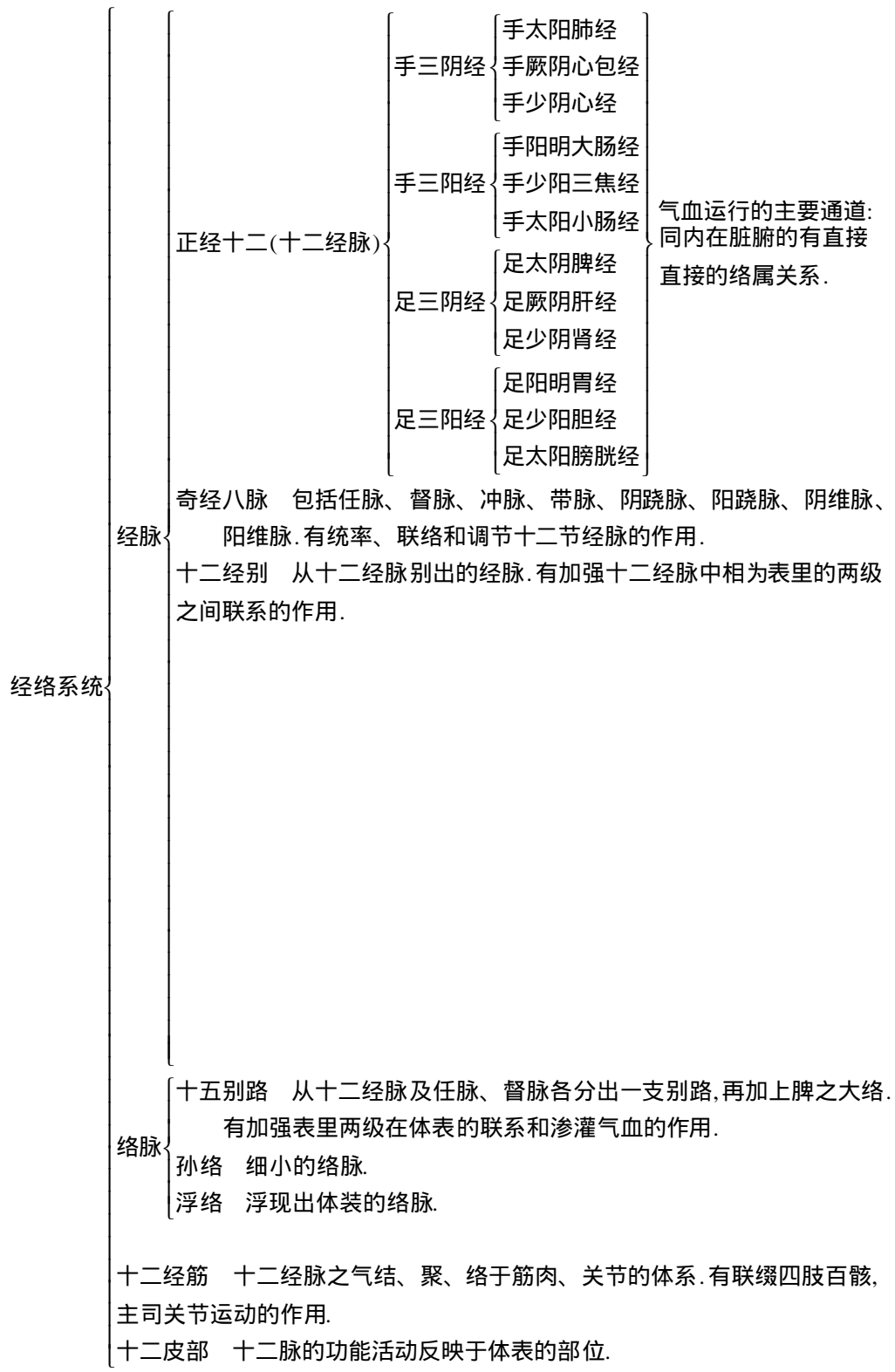
（曾雄生）

在中国传统科学中，唯一未被近代科学所取代的，是中医学。在各国和各民族的传统医学中，延续时间最长，发展最为充分的，也是中医学。而且，这门古老的科学至今仍显露着强劲的生命力，继续在发展和前进着，并越来越受到世界医学界乃至科学界的重视。之所以能够如此，就在于中医学有自己独立的、完整的理论体系，有自己独特的、行之有效的诊断和治疗方法。经络学说就是中医学理论体系中重要的基础理论之一，而且至今现代科学尚不能给予令人满意的解释，仍是有待研究的重大课题。

经络是经脉和络脉的统称。经络学说约创立于战国时期。经络学说认为，经络遍布于人体全身的各个部位，负担着运送全身气血，沟通人体内外上下的功能。经络不仅分布在人的体表，而且进入体内和脏腑相互联结，并且循环往复，周而复始，运行不息。

金代的医学家张子和在《医学入门》中说：“经者，径也；经之支脉旁出者为络。”也就是说，经脉是主干，络脉是分支。经者路径的意思，络有网络的意思。经脉包括十二经脉、奇经八脉、十二经别，络脉包括十五别络，孙络、浮络，另又有十二经筋和十二皮部。它们纵横交错，构成了一个网络全身的系统，把人体的脏腑、器官、孔窍以及皮肉筋骨等组织联结成为一个统一的有机整体。

现把经络系统列表如下，



经络学说对于阐释生理功能和病理变化,指导疾病的诊断和治疗,都有着重要的意义。同时,它又是针灸学的理论基础。因此,它是学中医者首先必须熟习的。张子和曾说:“不谙十二经络,开口动手硬错”,可谓至理名言。

(吴佩卿)

## 脉诊

公元前 5 世纪的春秋末期，有一天名医扁鹊带着几个徒弟来到虢（音 guó）国（今山西省平陆县），恰巧遇上这里正在为太子操办丧事。扁鹊在了解了太子的病情，并得知太子死去还不到半日后，便要求去看看太子。但见扁鹊在太子的头颈、上下肢等处按切一番后，对国王说，太子的病是“尸蹶”（相当于今医学上说的休克），这是因为阴阳脉失调，阳脉下陷，阴脉上冲所造成，太子其实还未死。于是，扁鹊施行了一番急救后，太子就醒转了。扁鹊在太子身上的按切，就是脉诊，也叫切脉。先秦时期的脉诊，用的是三部九候诊法，即须按切头颈部、上肢、下肢以及躯体的脉。用 3 根指头按切手腕上部的寸、关、尺，即寸口脉法，是汉代以后采用的，并沿续至今。

脉诊是中国在诊断学方面的一项独创性发明。它是中医四大传统诊法“望、闻、问、切”之一，为中医辨证施治中一项重要的诊断措施。扁鹊即是脉诊的高手，同时他又是脉诊的理论脉学的创立者。司马迁在《史记》中说，“至今天下言脉者，由扁鹊也”，反映了扁鹊在脉学发展史上的地位和作用。

从历史上脉学理论和脉诊案例中，可以看到古人对于人类的解剖生理学已有相当深刻的认识。至迟在战国时期，医家就已认识到，“心主血”，“心藏血”，一切血液都归属于心；血管是血液流行的通道；心与脉是相合的，脉搏发源于心，是心脏功能的具体表现。其中，关于血液在脉管中不停地流行，循环不已，上下贯通，如环无端的认识，更是世界上最早的关于血液循环的认识，比 17 世纪英国医生哈维的血液循环理论，要早约 2000 年。

同时，脉诊中还注意到血液流动的速度，脉搏与呼吸的关系，以至脉搏与人的七情六欲，脉搏在一年四季，脉搏在一日早晚等的变化。关于这些方面的认识，与现代科学的认识都基本相符。

脉学和脉诊以经络学说为基础，从气血内通脏腑，外连四肢肌肤骨节的人体整体观出发，提出了脉是整体的一部分，人体内部的变化会在外部表现出来，即所谓“有诸内，必形诸外”，所以可以由脉象的变化察知内在的变化，并由之诊断疾病的缘由和症结之所在。正如中医学的经典著作《内经》中所说，脉诊可以判断病人的生死，处理百病，调理虚实。从脉象的表征中，可以识别疾病所主的脏腑，以及病患产生的原因，从而进行辨证施治。

脉学中对于脉象的研究非常重视。所谓脉象，就是医生用手指感觉出来的脉搏形象，它包括脉搏显现部位的深浅、速度、强度、节律等。正常的脉象是不浮不沉、不快不慢、中和有力、节律均匀的，称为“平脉”。有病患时的脉象叫病脉，不同的病症常出现不同的脉象。为便于脉诊，古代的医家对脉象进行了总结和划分。最多者分脉象达 30 余种，一般是分为 20 余种常见脉象，如浮、沉、迟、数、滑、涩、虚、实、促、紧、弦、洪、细、微等。还有绘有脉象图，形象地反映脉象的情况。

中医师们一般都是凭着手指的感觉，辨明脉象，进行诊断，治病救人，所以人们常用“妙手回春”来赞扬医生医术的高明。

中国的脉学在隋唐时期即传入邻近国家以至伊朗。英国著名的医学家芙



罗伊尔（1649—1734年）曾受脉学经典著作《脉经》的影响，而致力于脉学研究，并发明了一种用于切脉计数脉搏的表。可见，中国的脉学在世界医学史上曾做出过一定的贡献。

（吴佩卿）

## 针灸

“脉诊”条中说到，扁鹊在诊断虢国太子的病是“尸蹶”后，立即施行急救。他首先采用的急救措施是，让徒弟子阳用磨石把一根针磨锋利，然后刺在太子头顶的百会穴上，不一会儿，太子就苏醒了；又让徒弟子豹将药物加热，在太子的两胁下进行熨烫（热敷），太子便能坐起；再开了汤药让太子服食，服药20天，太子就康复如故。其中，针刺百会穴就是中医传统针灸疗法中的针法。

针灸疗法是中国在医疗方面的一项独创性发明。针灸包括针法和灸法，针法是用针（历史上所用的针有金针、银针、钢针等）刺身体的特定部位（一般是穴位），以达到治疗效果的方法；灸法是用艾柱等药物，烧灼患部或穴位，以收治疗之效的方法。现人们所称的针灸，一般仅指针法。

针灸疗法的理论基础是经络学说，即所谓“凡刺之理，经脉为始”。经络学说的一项重要内容是，各经脉分别配属一定的脏器，因此对于针灸疗法来说，只要确定所患病症归属哪一经脉，就可以施以治疗。在经络学说的基础上，又发展出俞穴，也称穴位，因俞穴部位大多在经脉循行的径路上，故亦叫经穴。历代的医家对俞穴非常重视，对俞穴的作用，俞穴与脏腑的联系，以及俞穴的适应范围不断进行总结。其中仅西晋时皇甫谧编撰的《针灸甲乙经》，就总结有俞穴654个，以后的医家又陆续发现了不少新的穴位，提供了更多有效的医疗途径。

针灸疗法也引进了阴阳学说。阴阳学说认为疾病是由于人体的阴阳失调造成，因此针灸疗法中提出了“用针之要，在于知调阴与阳”的指导思想。在这思想的指导下，针灸疗法中演生出“补”和“泄”两种方法，以适应治疗各种疾患时“调其阴阳，不足则补，有余则泄”的治疗原则。

针灸疗法有着特殊的治疗效果，但是下针方法、针深度、针刺强度、俞穴部位等的掌握却有一定的难度，针刺不当不但收不到治疗之效，而且可能加深病症，引发其他的疾患，甚而发生医疗事故。因此，历代的医家对于针灸疗法的施行非常谨慎，对于针灸疗法的传授非常重视。为此彩绘有不少针灸挂图、针灸图谱，以帮助对于针灸疗法的掌握。如唐代的著名医学家孙思邈绘制有3幅大型彩色挂图，分别把人体正面、背面和侧面的十二经脉用五色绘出，把奇经八脉用绿色绘出。唐代把针灸列入了国家的医学教程，并在太医署设立专门的针灸医务人员。特别是北宋天圣五年（1027年），医学家王惟一在医官院主持监制了两具针灸铜人，铜人上刻有经脉俞穴，作为对针灸的教授、学习、考试之用。明、清时也铸造有针灸铜人。

现在，针灸已被称为中国“神针”，引起世界医学界的重视。不少国家都开设了针灸治疗，受到患者的欢迎。

（吴佩卿）

## 麻沸散

华佗是东汉末年的一代名医，他精通各种医术，尤其擅长于外科手术，被尊为中医外科手术的祖师。现在人们还常用“华佗再世”，来形容一个医生手术的高明。至于《三国演义》中，华佗为关羽“刮骨疗毒”的故事，更是广为流传。

华佗之所以能够成为一代外科手术大师，是与他发明了世界上最早的全身麻醉药分不开的。人们不难想象，未经理麻醉，就对病人开刀手术，那将是怎么样的情景，由之也可以明了麻醉药发明的意义了。

相传有一次，华佗给一个船夫看病。这个船夫肚子疼得很厉害，华佗诊断他的脾烂了，需要手术割除。于是拿出一包麻沸散，和在酒里给船夫喝下，过不了一会儿，船夫就像酒醉一样，昏昏入睡。随之，华佗为他剖开肚皮，切除烂脾，再止血，缝合，在伤口处涂上生肌收口的药膏。过了1个月左右，船夫的病便痊愈了。据《后汉书·华佗传》记载，华佗用这种麻醉方法，先后成功地做了开腹切肠，剖腹取胎，切除肿瘤等大型的手术。

麻沸散的发明，是外科医学上一项划时代的贡献，而且它远远走在世界的前面。历史上，欧洲人进行手术，用的是放血麻醉法。即把病人的血放掉，血放多了，人就晕过去，再做手术。这种方法非常危险，病人多半死亡。直到1844年，美国的柯尔顿才发明用笑气（一氧化氮）做麻醉药，但效果也不理想。后来西医中常用的全身麻醉药乙醚，是1848年由美国人莫尔顿发明的。

华佗对麻醉学的贡献已得到国际医药学界的承认，并不断有人对麻沸散的成分进行研究。本世纪30年代，美国的拉瓦尔在其所著的《药学四千年》一书中指出：“一些阿拉伯权威提及吸入性麻醉术，这可能是从中国人那里演变出来的。因为，据说中国的希波克拉底氏——华佗，曾运用这一技术，把一些含有乌头、曼陀罗及其他草药的混合物应用于此目的。”其中所说的希波克拉底，是古希腊医师，西方医学的奠基者。也有研究者认为，保留在医书《华佗神方》中的麻沸散，是由羊躑躅、茉莉花根、当归、菖蒲4味药组成的。不管麻沸散的成分如何，都不影响它作为世界上最早麻醉药的地位。

（吴佩卿）

## 种痘术

联合国世界卫生组织曾向全世界宣告，天花从1980年开始，已在地球上被最终消灭。这一伟大的医学成就的取得，追根溯源应归功于中国古代发明的种痘术。

天花是一种烈性传染病，大约1世纪时的汉代传入中国。世界各地的人们都曾遭受到天花的肆虐。

染上天花的病人死亡率极高，有时高达40%，侥幸活下来的人，也大都容貌被毁，留下点点麻子，身心受到严重损害。据统计，中世纪时约有10%的人死于天花，平均5个人中就有一个麻子。法国皇帝路易十五，英国女皇玛丽二世，德国皇帝约瑟一世，俄国皇帝彼得二世，中国清代的顺治皇帝等，

都死于天花。

为了控制天花的为害，各国都有不少医生致力于探索防治天花的途径，而中国率先取得了突破，发明了人痘接种术。中国何时发明种痘术，现尚没有定论。有人认为宋代时种痘术已经问世。传说宋真宗（997—1022年）时，丞相王旦的几个孩子都死于天花，老年又得一子，取名素。为了防止孩子重遭天花的厄运，便召集了一批医生进行防治天花的研究。有人告诉王旦，峨嵋山有个身怀绝技的女子，专治痘疮（天花），于是便把她请来，给王素接种了人痘，王素果然没有再染上天花。

有确切的史料表明，大约在明隆庆年间（1567—1572年），人痘接种已经在今安徽太平县一带开始流行。其后，种痘术得到不断地改进和推广，至清代康熙年间（1662 - 1722年）已推广到边远的少数民族地区。

古代的种痘方法大致有4种，即痘衣法、痘浆法、旱苗法、水苗法。痘衣法是用患者穿过的沾有天花浆液的衣服，给被接种者穿。痘浆法是用棉花直接蘸取天花的浆液，塞入被接种者的鼻孔。这两种方法较为原始，可能是早期应用的，因其毒性较大，成功率低。后来不用。旱苗法是把天花患者的痘痂阴干，研成细末，再用银管吹进接种者鼻孔里。水苗法是把痘痂细末用水调匀，然后用棉花蘸取，塞入接种者鼻孔。

用种痘法预防天花，也就是人为地、有控制地接种疫苗，使接种者轻度发病，从而获得对天花的免疫力。这是现代免疫学的先驱。中国的免疫思想有着悠久的历史，早在4世纪时就用狂犬的脑敷贴被咬伤口、以防止狂犬病；6世纪时就用恙虫幼虫细末治疗恙虫病。种痘术正是这种免疫思想发展的成果。种痘术的成败在于痘苗的提取。把痘痂阴干、研末。本身即已降低了痘苗的毒性。为使接种安全可靠，人们还研制成功经7次连续接种的痘苗，并发明了保存方法。

康熙二十七年（1688年），俄国派人到北京学习种痘法，后又由俄国将此法传入土耳其。英国驻土耳其大使夫人蒙塔古看到人痘接种的良好效果，因她也曾染过天花，她的弟弟更死于天花，便让她的儿子接种，并把此方法介绍至英国。在人痘接种术的启发和影响下，英国的琴纳于1796年发明了牛痘接种法，使天花疾患的防治进入一个新的阶段。

（吴佩卿）

## 都江堰

都江堰，是世界闻名的古老而宏伟的水利工程。它位于四川省灌县，创建于战国末期秦昭王时期（前306—前251年），是当时的蜀郡守、中国古代杰出的水利专家李冰设计并主持修建的。

有“千水之省”称谓的四川省古时为巴、蜀古国，早在李冰以前的相当长的一个历史时期内，巴蜀大地经常受到洪水的袭扰，每值雨季到来，众多江河一并发难，洪水肆意漫流，巴蜀便成了水乡泽国，巴蜀百姓饱受洪水之苦。秦惠王更元九年（前316年），巴、蜀为强秦所灭，成为秦国的一个郡——蜀郡。秦国为达到以蜀地为基础进而灭楚，统一天下的目的，决心治理蜀郡水患。故此，秦王派李冰任蜀郡守以完成治水大业。

李冰就任蜀郡守后，吸取了前人治水的经验和教训，对蜀郡地理实况作

了考察。针对流经蜀境的岷江对成都平原地区具有直接影响这一实际情况，他采取了以治理岷江为重点的治水方案。在成都平原顶端的灌县，岷江从境内穿过，每次洪水袭扰成都平原，皆从此顺势而下。李冰决定在灌县岷江主干道上的玉垒山附近建立一座水利枢纽工程，外拒岷江洪水，内引水自流灌溉，这一工程便是著名的都江堰水利工程。

都江堰设计方案由以下几部分组成：

1. 宝瓶口的开凿。宝瓶口是都江堰水利工程的引水口门，位于灌县西北的玉垒山下。这里是岷江自川藏高原山谷中流入平原地区的转折点，李冰选定此处设置引水口十分科学，这使得岷江在流入平原地区之始便被人为地控制住。宝瓶口的具体位置在玉垒山下的离堆附近，是李冰带领百姓付出了巨大的艰苦劳动开凿坚硬的岩石才凿成的。

2. 分水堰的修造。为了能对岷江水流进行人为控制，进行强制分流，李冰在宝瓶口上游，白沙河汇入岷江的河口下游不远处，选定一适当河段，在江心修建一座大棚（即分水堤，不封闭的人字形拦河低坝），坝体两端各自留有一个口门，以供引水；然后在坝体上游顶部的中心处，建筑一个鱼嘴形设施，用以劈分水流，这一设施被后人称作“鱼嘴”。同时，又在棚体两侧各自开挖一条新的水道。这样，岷江经鱼嘴劈开后便分成两股水流。其中一股沿棚体东侧河道流入宝瓶口，引入成都平原下游；另一路则沿棚体西侧河道，绕离堆山西侧而过，直下而抵新津。这一部分工程设施，被后人称为“鱼嘴分水堤工程”。

此后，李冰和后人又在此基础上，修建了飞沙堰（溢洪道）等设施，使都江堰水利工程有了“分四六，平潦旱”的功效。即在旱季江水少时，通过飞沙堰的调节，使六成水量流入宝瓶口，供平原地区农田灌溉及生活用水；在洪水季节，通过飞沙堰飞沙泄洪，使四成水量的江水流入宝瓶口，既使平原免受洪水袭扰，又能保证正常用水需要。

都江堰的兴建，使蜀地百姓长久以来为岷江洪水困扰的被动局面得到彻底改变，同时又使平原地区数以百万亩的良田得到灌溉，从此“水旱从人”、“沃野千里”，蜀地始有“天府之国”的美誉。

在历代人们的高度重视和精心维护下，都江堰水利工程两千多年来，始终保持着良好的水利功效，成为世界水利史上独一无二的奇迹。

（李劲松）

## 大运河

提起大运河，现在有时专指京杭大运河。不过中国古代运河工程不是一下子就成为现在所见到的京杭大运河这个样子的，它有一个不断发展的过程。

魏、晋、南北朝时期的中原一带，因为连年战乱，土地荒芜，财物供养主要取自南方。隋代建立后，为了加强对东部南、北广大地区的控制，特别是为了保证南方经济重心地区对政治中心的供养于是发起了开凿大运河的工程。大运河工程分3期完成。第一期工程于大业元年（605年）进行第一期工程于大业元年（605年）进行，西起东都洛阳西苑，引洛水、谷水入黄河，又引黄河水入淮河，到达山阳（今江苏淮安），再疏浚战国时吴国开的邗沟，

到达江都(今扬州)，把淮河水引入长江，命名通济渠。渠全长 1000 多公里，渠宽 50~60 米，渠边广种榆柳，两岸铺设大道，还建有驿站和 40 多所离宫。工程于当年秋天完成，共征发河南、淮北民工 100 多万，淮南民工 10 多万。

第二期工程于大业四年(608 年)进行，在洛阳附近的板渚引沁水南通黄河，又引黄河水从板渚北流，到达涿郡(今北京)，命名永济渠。全长 1000 多公里，征发河北民工 100 多万。

第三期工程于大业六年(610 年)进行，从京口(今江苏镇江)起到达余杭(今杭州)，沟通长江和钱塘江，命名江南运河。全长 400 多公里，宽约 40 米，岸边建有驿站和离宫。

元朝定都北京后，基本供给仍然依靠富庶的南方，这样就使水运工程发展的重点转向南北水道的加强，于是发起了运河改道工程。至元二十年(1283 年)，从济州(今山东济宁)沿山东丘陵的西部边缘开凿济州河，北到东平，从济州南接泗水入淮河。至元二十六年(1289 年)，又从东平开凿会通河北到临清，接隋代的永济渠。至元二十九年(1292 年)，又从大都(今北京)开凿通惠河到通州(今通县)。从此，在神州大地上，就出现了人工开凿的从北京到杭州的京杭大运河。

大运河全长 1794 公里，是世界上最长的运河，也是世界上最伟大的水利工程之一。它以人力改变了中国没有南北向河流的天然不足，成为南北交通运输的大动脉，对中国古代社会的发展起了重要作用。

(郑俊祥)

## 制图六体

中国古代利用地图的历史十分悠久。早在西周时周武王就令召公测绘洛伊地区地图来确定王都和成周两座城的位置。战国时卫国人荆轲被燕国太子丹派遣刺杀秦王，荆轲利用地图在军事和政治中的重要作用和价值，以燕国督亢地图为诱饵，取得了秦王的信任，得以接近秦王。但他利用藏于地图中的匕首刺杀秦王没有成功。成语“图穷匕见”便是演生于这个故事。实际上，地图在中国古代广泛应用于生产、军事各个方面。

实际社会活动不但需要应用地图，而且对地图的精度有一定要求。例如，西汉建元六年(前 135 年)，淮南王刘安有感于汉武帝所掌握的闽越地图粗糙不准确，而上书劝阻汉武帝攻打闽越。

为了使绘制的地图更符合实际，解决实际问题的需要，人们进行了不断的探索。大约 2 世纪时，晋代裴秀创立了中国古代地图编制理论，即“制图六体”。

所谓“制图六体”，也就是绘制地图时的 6 项基本原则：

第一项是“分率”，即比例。把地形、地物按定的比例缩绘在大小有限的图纸上。

第二项是“准望”，即测定地物间的方位，使各地物间保持正确的方位关系；

第三项是“道里”，即测定地物间的距离远近；

第四项是“高下”，测量两地间道路高低上下的情况，以“逢高取下”的方法，把两地间距离换算成水平距离；

第五项是“方邪”，即方斜；第六项是“迂直”；

这两项说的是两地物间的“道里”不能直接量取时，采取“逢方取邪”，“逢迂取直”的方法，以确定两地间的直线距离。

裴秀在说明“制图六体”在地图编制中的作用及其重要性时认为，绘制地图如果只有图形而没有比例尺，就无法进行实地和图面距离的比较和测量；如果有了比例尺而不考虑方位，那么就很难确定所有地物的正确位置；有了“准望”而无“道里”，那么就不知道图上各地物的远近；有了“道里”而不测高程就不知道山的坡度大小以及山的高低。“制图六体”是绘制地图时缺一不可的6个方面，只有这6个方面互相补充才能准确地确定一个地方的位置和距离。

“制图六体”的创立，为中国古代地图的制作奠定了理论基础，使地图绘制有章可循。从创立时起，直到明、清之交的1000多年中，“制图六体”始终指导着中国古代地图的编制工作。

（郑俊祥）

## 大地测量

公元717年，一个叫张洽的人带着唐玄宗的旨意，从唐朝都城长安来到当时荆州的当阳山，专请一行出山到国都长安。僧一行在20岁时就以“博览经史，尤精历象、阴阳五行之学”而著称于世。一行俗名张遂，于705年在河南嵩山出家，约于716年到当阳山。唐睿宗710年即位后曾派专人到嵩山请一行到京从政，但一行称病不出。唐玄宗闻知一行的学问和品行，特命一行的叔父张洽来请。这次一行碍于叔侄之情，又迫于皇帝的命令，只得应命到京。

721年，由于当时正在使用的历法麟德历预报日食连连失误，唐玄宗诏一行“考前代诸家历法，改撰新历”。就是在这种情况下，为了配合完成新历法的撰写工作，一行领导进行了一次大规模的大地测量。

测量地点共选择13处，北到铁勒（今俄罗斯贝加尔湖附近），南到林邑国（今越南中部），还有安南都护府（今越南北部）、郎州武陵县（今湖南常德）、襄州（今湖北襄阳）、蔡州上蔡县武津馆（今河南上蔡）、许州扶沟（今河南扶沟）、阳城、洛阳、汴州浚仪太岳台（今河南开封）、滑州白马（今河南滑县）、太原府、蔚州横野馆（今河北蔚县）等11处。测量了各地北极出地高度、冬夏至和春秋分日太阳在正南时的日影长度。这是中国古代第一次，也是世界最早的一次大规模大地测量工作。

其中，天文学家南宫说等人在河南的白马、浚仪、扶沟和上蔡4处的测量最为重要。因为这4处都处于平原地区，大致在同一地理经度线上。南宫说等除测量了上述4处北极出地高度、冬夏至和春秋分日太阳在正南时的日影长度外，还直接测量了这4地间的距离。测量结果表明，自何承天起就被否定的汉以前关于“南北地隔千里，影长差一寸”的说法纯属臆测。

通过对上述4处各地里差与北极出地高度之间的关系进行分析，僧一行得出“大率三百五十一里八十步，而极差一度”的结论。换算成现代单位就是，南北相距129.22公里，北极高度相差1。这实际上就是地球子午线1的长度。这结论与现代1子午线长111.2公里的测量值虽有较大差距，但这

毕竟是世界上第一次用科学方法进行的地球子午线 I 长度的实测，具有划时代的意义。

(郑俊祥)

### 分段筑堰测高法

汴渠是我国古代的重大水利工程之一。汴渠工程始于东汉，历经晋、隋、唐的不断改造，使汴渠一直是北宋以前从中原通往东南的水运干道。这期间汴渠一直以黄河为水源。黄河水含沙量大，汴渠需要经常疏浚。同时黄河主流摆动比较大，使汴渠的取水口跟着摆动，工程量巨大。到了北宋熙宁年间（1068—1078年），汴渠正常航运已经十分困难。有人提议不用黄河浑水而改用泥沙少的洛水作汴渠的水源，因此便产生了清汴工程。就是在这种情况下，为了清汴工程的需要，沈括进行了测量汴渠全程水面比降的工作。

早在战国时期，中国古代劳动人民就发明了简单的水平仪，也发明了望尺和于尺。到宋代以前已经在水利工程建设中广泛利用这些工具进行工程测量，包括对河流水面比降的测量。但沈括认为单靠这些仪器，测量结果可能误差较大。为了使测量更加精确，沈括发明了“分段筑堰（音烟 y n）测高法”。

“堰”就是较低的挡水建筑物。“分段筑堰”就是沿着河水流动的方向，每隔一段距离就修一个只有一个开口的封闭式挡水建筑物，然后把河水通过开口引入挡水建筑物内，形成一个小池塘。当池塘水面静止时，池塘水面的高度就是池塘开口处的河流水面高度。因此测量相邻两个池塘静止水面的高差就是河流相应两处的水位差。这样把所有两相邻池塘静止水面高差相加就得出所测河段水面的高差。这就是“分段筑堰测高法”。沈括在主持测量汴渠从汴京（今开封）的上善门到泗州（今江苏泗洪东南）的淮河口的水面比降工作时，运用这一方法测得其总长八百四十里又一百零三步（约合现代的100公里），水面高差是十九丈四尺八寸六分（约合61·58米）。测量结果达到了寸、分的单位，其精确度是相当高的。

沈括发明的这个方法是测量史上的一个创造，在当时世界上也是相当先进的。

(郑俊祥)

### 候风地动仪

公元132年东汉都城洛阳发生了一件事，太史令张衡发明了一种仪器，它能知道什么时候、哪里发生了地震。只要那个方向发生了地震，仪器上那个方向的龙口就张开，龙口中的小铜珠就落入下方的蟾蜍口中而发出响声。这件事引起朝中大臣们的纷纷议论，有不相信的，也有表示怀疑的。但时间一久，人们对这件事也就淡忘了。过了几年，公元138年的一天，张衡发明的那架仪器朝西方向的龙口突然张开，小铜珠落入蟾蜍口中。这说明小铜珠落入蟾蜍口中的时候西方发生了地震，但当时洛阳并没有人感觉到有什么震动。于是满朝文武又是议论纷纷，说张衡的那架仪器不可靠。但过不多久，

现在甘肃境内的地方官府奏报来到，奏报称那里发生了一次强烈地震。这件事使当时的人们对张衡的那架仪器十分信服，史籍中世称其“验之以事，合契若神”。

张衡发明的那架仪器就是世界上第一架地震仪——候风地动仪。《云汉书·张衡传》记载说“地动仪以精铜制成，圆径八尺，合盖隆起，形似酒尊。”其里部主要构件是中间一根高而细的铜柱，张衡称之为“都柱”。都柱在接收到地震产生的地震波后，就向波源方向倾倒。在都柱周围架设有8条通道，使倾倒的都柱只能往一道中滑倒，其所倒方向即是地震发生的方向。尊外相应地设置8条口含小铜珠的龙，分别朝着8个方向。每个龙头下面都有一只蟾蜍张口向上，准备接住落下的小铜珠。都柱受地震波的震动而倾倒时，敲动一个像弩机装置似的牙机，利用杠杆原理传动，使龙首张开口，小铜珠便落入蟾蜍口中发出声响，人们就知道什么时候什么方向发生了地震。

张衡发明的候风地动仪虽然只能测知地震震中发生的大概方位，但在文明发展史上却是一项了不起的发明。一直到19世纪，世界才出现真正用来观测地震的仪器。候风地动仪领先世界地震科技达1800年，因此被公认为地震仪的鼻祖。

（郑俊祥）

### 岩溶地貌和溶洞考察

“鸾鹤空山路渺茫，重峦绝处逗云房。何人天外能来往？有洞花间独闾藏。瑶草琼枝开自落，金茎玉乳滴还长。神龙百尺潭时护，不许桃花出夜郎。”这是明代杰出地理学家和旅行家徐霞客（1587—1641年）的一首诗，咏的是云南鸡足山十景之一的“古洞别天”。

在徐霞客的一生中，他的身心几乎与大自然融为一体，尤其是与山水、洞穴结下了不解之缘。从20岁起直至53岁去世的30多年中，他踏遍了大半个中国，亲身探察了许多溶洞和名山大川，并写了名著《徐霞客游记》。

徐霞客所游历考察的地区，有不少是属于岩溶地貌的地区，特别是湖南西部、广西、贵州、云南等地。所到之处，他都细致地考察这些地区的地貌特征，并作了详细而忠实的记录。据统计，他记述的地表岩溶地貌的内容达22项，大部分是他首先观察到的。其内容包括石芽、溶沟、裂隙、槽谷、盆地、嶂谷、天生桥、孤峰等等。同时，他对比了不同地区地貌之差异，有的还就其成因进行了探讨。这些记述是前人所无法比拟的。

在游历生涯中，徐霞客探察过众多的洞穴。仅据现存的游记中进行统计，他所记述的洞穴有357个，其中石灰岩溶洞288个；他亲身探察的洞穴有306个，其中石灰岩溶洞250个。所考察的内容包括洞穴的结构和类型，洞穴堆积，地下河，地下湖，洞穴瀑布，地表水与地下水之关系，洞穴的气候、生物、音响，以及洞穴的成因等。这些记述的广度和深度，都远远地超越了前人。

通过考察，徐霞客明确地提出，不管是地表岩溶地貌，或者是溶洞，其主要成因都是由于流水的侵蚀作用。如关于桂林水月洞和象鼻山的地貌特征，他指出：“飞崖自山顶飞跨，北插中流，东西俱高刺成门，阳江从城南来，流贯而合于漓。上既空如明月，下复内外漾波，‘水月’之称以此。而



插江之涯，下跨于水，上属于山，中垂外掀，有卷鼻之势，‘象鼻’之称又以此。”他又指出石灰岩溶洞的钟乳、石笋奇观，是由于石灰岩中的水滴下落后，蒸发凝聚而成。他在游云南保山水帘洞的日记中，即写道：“崖间有悬干虬枝为水所淋者，其外皆结肤为石，盖石膏日久凝胎而成。”

徐霞客的考察活动，可谓是历史上一项卓绝的创举。无论是考察的岩溶地貌范围之广，还是考察的洞穴数量之多，或者是认识程度之深，徐霞客都高踞于世界之首，而且在时间上也比其他国家的学者早得多。西方学者对岩溶地貌和溶洞的考察，大都是在 18 世纪或 19 世纪方出现，且广度和深度大大地落后于徐霞客。直至 19 世纪 50 年代，西方才出现了超越徐霞客的著作。

（金秋鹏）

## 造纸术

造纸术是中国古代的一项伟大发明，它对人类文明进化的影响是难以估量的。

西晋时人傅咸（239—294 年）曾作有一篇《纸赋》，讴歌纸对于文化发展的意义。赋中写道：“既作契以代绳兮，又造纸以当策。”“契”指甲骨文，又春秋战国时期开始流行在竹片上书写文字，所用的竹片叫做“简”，把许多“简”编在一起叫做“策”。《纸赋》中这句话说的是用文字记述代替结绳记事，用纸代替竹简作为书写材料。

纸的问世，是书写材料的一场革命。在纸出现之前，人们一般把长文写在竹简上，每简大都只写一行字，字数通常是 22 个到 25 个。汉代的简也有写二三行，以至五六行的。要写一本，或抄一本书，往往要用数百根甚至数千根竹简，编成简策后体积很大，又很笨重，出门带书，经常得用车载。据说战国时名家代表人物惠施出门游学，随身载有五车的书，后人由此演出“学富五车”的成语，用来形容一个人的知识渊博。在使用竹简的同时，也用木片和缣帛作为书写材料。用来写字的木片叫“版牍”，一尺（约合现代 23.1 厘米）见方的版牍叫“方”，常用于写信。后人把信称为“尺牍”，把文稿称为“文牍”，就是版牍字义的引伸。版牍一般只用于写短文。在缣帛上书写，称为“帛书”，缣帛虽书写和携带方便，但价格昂贵，一般读书人用不起，又数量有限，无法普及。只有纸张是最理想的书写材料，因此它一经问世便深受人们的欢迎，逐步取代了简策、版牍和缣帛。

关于造纸术的发明，以往人们依据《后汉书·蔡伦传》的记载：“自古书契多编以竹简，其用缣帛者谓之纸。缣贵而简重，并不便于人。伦乃造意，用树皮、麻头及敝布、鱼网以为纸。元兴元年（105 年）奏上之，帝善其能，自是莫不从用焉，故天下咸称‘蔡侯纸’。”认为造纸术是蔡伦于 105 年稍前时所发明的，几乎已成定论。但近几十年来多次考古发掘中，发现了西汉时的麻纸，最早的是西汉初年，表明了蔡伦之前 100 多年时，中国即已制造了以麻为原料的纸张，把造纸术的发明年代大大推前，并纠正了史籍记载和传统观念的偏颇。尽管蔡伦不是造纸术的最初发明者，但他开拓了造纸新原料，用树皮和废弃的敝布（指麻布）、鱼网（麻制）造纸，并改进了造纸工艺，造出优质的适于书写的纸张，使纸张得以迅速推广，“天下莫不从用”，其伟大的功绩仍是值得赞颂的。

纸张引起的书写材料的变革，不仅是全国性的，而且是世界性的。伴随着中外经济、文化交流，造纸术先后传到朝鲜、日本、越南、印度、阿拉伯、埃及以至欧洲。纸张的使用，使埃及的纸草、印度的贝叶、欧洲的羊皮等，纷纷退出了书写历史的舞台。从此，纸张成为风行世界的书写材料，大大地加快了人类文明进步的历程。

(金秋鹏)

## “文明之母” 印刷术

被誉为“文明之母”的印刷术，是中国古代四大发明之一。

印刷术诞生在中国，绝不是偶然的。所谓印刷，其最基本的技术工艺，是在反刻阳文字板或字印上涂上墨，再刷印在纸张上。其所必需的物质技术条件，在中国早已成熟。南北朝时期，优质纸张已经大量生产，普遍使用，烟墨的质量也已经相当优良。而刻字技术则早在殷商时期即已产生，先是在甲骨上刻字，后来又在铜器、竹片、木牍、石板上刻字，反刻阳文和阴文的印玺亦随之出现。特别是南北朝时期道教盛行，刻印符篆成风，有的符篆多达120字。至于刷印技术，已有摹拓碑石刻文的技术，以及纺织品的镂板印花技术。正是在这样雄厚的物质技术基础上，印刷术应运而生了。

古代的印刷术分为雕板印刷术和活字印刷术两类。雕板印刷术先行出现；活字印刷术是在探求改进雕板印刷术的过程中发明的。

雕板印刷术大约在7世纪上半叶的唐代初期问世。直至本世纪初期，雕板印刷一直是中国文献和图籍的主要印刷方式。在这1000多年的历程中，雕板印刷术不断得到发展和完善。雕板的材料除了木板外，又有石板、铜板；印刷除单色外，又有彩色套印；印刷品则从初期的单页图文、小型书籍，进而发展到大型类书的印制。大型书籍的刻印开始于五代时期，由冯道（882—954年）发起，国子监刻印《几经》、《五经文字》、《九经字样》等儒家典籍，计130册；花费时间22年（931—953年）。宋代刻印的《大藏经》，历时12年（971—983年），刻板13万块，印成书籍1076部，每部5048卷。明清时期集佛、道二教典籍所刻印的《道藏》、《续道藏》亦是工程浩大的雕板印刷壮举。

雕板印刷存在着刻板费工费时，用后雕板收藏不便的缺陷，因此人们探索着印刷术的新途径。北宋庆历年间（1041—1048年），民间发明家毕昇终于首创泥活字，成功地进行了活字印刷。活字印刷的方法是：用粘上刻字，每字一印，制成大小划一的薄字印，然后用火烧烤使它陶化，即成坚硬的泥活字。刻字时，同一字刻几个印，常用字则多刻、最多者达20余印，以备排版中遇到相同的字时应用。字印按音韵分门别类、贮放在木格里。排版时用两块铁板，板上铺施松脂、蜡和纸灰，另用一铁框置于铁板上，在框中排上活字，满框后即为一版，用火稍加烘烤，使松脂和蜡稍稍融化，粘住泥活字，再用一块平板把字面压平，即可刷印。两块铁板一块印刷，一块排字，交替使用，提高印刷的工效。印完的版再经烘烤，使松脂和蜡稍熔，可很容易把活字取下，重复使用。如排版时遇到缺字，可现刻、现烧、现补。近代活字印刷的基本原理、工序、工艺均寻源于此。

元初的科学家王祜又发明了木活字印刷，并改进了排版技术。他用木板

代替铁板，排版时用竹片把每行字夹住，排满后再用木屑塞紧，省去了毕昇固定和取下字印之不便。

在中国古代活字印刷中，除泥活字、木活字外，还有锡、铜、铅等金属活字以及瓷活字，但大量应用的是木活字。1773年，清政府组织刻成253500余枚枣木活字，先后印行《武英殿聚珍板丛书》138种，共2300多卷，是历史上最大规模的活字印刷活动。

印刷术在7世纪和8世纪时即传入朝鲜、日本，12世纪左右传至阿拉伯和埃及，大约在14世纪时传入欧洲。

印刷术的发明是人类文明发展史上一项具有划时代意义的创造，它使文化的记录、保存、传播以至交流进入了一个新的纪元。

(金秋鹏)

### 转轮排字架

活字印刷术应用的初期，排字工必须跑来跑去，在贮字的格子中寻字、取出，再放置到印版上。这样做既累人，效率又差。为解决这个问题，元代的王祜发明了转轮排字架。

转轮排字架是一种由轮盘和轮轴构成的排字机械，其制造方法是，用木头造一个大轮，轮盘的直径约七尺(约2.21米，元时一尺相当于31.6厘米)；轮轴亦用木头制成，高1米多；另用大木砧一块，上面开孔，安装横梁，作为基座。基座中贯轮轴，下设有钻臼，使轮轴可以自由转动，轮盘中心开一孔，插置于轮轴之上。又用竹蔑编织成圆竹筐一面，大小与轮盘相等，铺置在轮盘之上，圆竹筐的上面再置活字板面。活字按音韵分类，每类的字又依次编号，按顺序铺摆于板上。这样就构成一个可以左右旋转的排字设备。

排字时，一般设2个排字架，一架上面放置按韵排列的活字，一架上面放置常用杂字。排字工坐在两轮中间，可以随手左右旋转轮盘摘字，并排到印版上。实际操作时用两个人，一个人手执事先记录的活字编号册，按需排的文字唱出每个字的音韵号数，另一个人转动轮盘按号取字排版。

转轮排字架是世界上第一架排字机械。它的发明，既简化了排字工艺，提高了排字效率，又大大减轻了排字工的劳动强度，对于促进活字印刷术的发展，有着重大的意义。王祜在其所著的《农书》中记述此项发明时，也说：“盖以人寻字则难，以字就人则易，此转轮之法，不劳力而坐致。字数取讫，又可铺还韵内，两得便也。”

(金秋鹏)

### 井盐

中国古代食用盐的历史十分久远，最初时的食盐来源海洋。传说在三皇五帝时期，炎帝神农氏的诸侯宿沙氏即已开始“煮海为盐”。在相当长的一段历史时期内，海盐是人们获取食盐的唯一途径。而远离海洋的内陆，人们需要的食盐只好靠从海边长途贩运海盐，或以其他卤水之类替代。

战国末期，强秦吞并巴、蜀，将其划为秦国的蜀郡。秦昭王三十年(前

277年)，著名水利专家李冰出任蜀郡守。在他带领人们整治巴蜀水利的过程中，曾平除乐山脚下的盐溉大滩。此处“盐溉滩”属于浅层的自流井类盐卤层。李冰从中受到启发，开始寻找蜀地蕴藏的食盐资源，终于在四川双流县南华阳镇开凿了我国第一口盐井——广都盐井。

广都盐井不仅是中国，同时也是世界上的第一口盐井。自此，人类有了新的食盐资源——井盐。

围绕着井盐的开发利用，一系列相关技术亦相继诞生。

首先，开凿盐井需要具备相当的凿井技术。李冰时代所开凿的广都盐井等，大都深度在地表面以下20—30米左右。李冰成功地将发源于秦地黄土高原的凿水井技术运用到盐井的钻探，采用了井圈下沉法等项技术，开凿出大口浅层盐井。东汉以后，大口井逐渐向深度发展，晋代已达三十丈（约73.2米，晋代一尺约24.4厘米）深，隋唐时，已有深达八十丈（约242米，唐时一尺约30.3厘米）的深井出现。

宋代，中国井盐业钻井技术取得了具有历史意义的突破，其主要标志就是“卓筒井”的开凿成功。

卓字的意思是“立”、“直立”，“卓筒井”就是直立的筒井。《东坡志林》中记载：“自庆历、皇祐（1041—1053年）以来，蜀始创筒井。用圆刃凿如碗大，深者数十丈。以巨竹去节，牝牡相衔为井，以隔横入淡水，则咸泉自上。又以竹之差小者，出入井中，为桶无底而窍其上，悬熟牛皮数寸，出入水中，气自呼吸而启闭之，一桶致水数斗。凡筒井皆用机械。利之所在，人无不知。”

盐井凿井图卓筒井开凿工艺的主要成就在于1.这类井口径很小，仅26.7~30厘米，这与现代盐井的口径极为相近。井的深度可达几十米、100米乃至几百米，在当时，这一工艺水平，无论是在中国还是在世界钻井史上，均可称之为奇迹。

2.在钻井工具方面，使用了“圆刃”，其深钻技术便是在此基础上的“顿钻钻井法”（用冲击力凿岩石）。这种圆形刀刃的发明，开辟了近代设计各种钻井“凿刀”的途径。

3.以巨竹去节，彼此首尾相衔，构成人造井壁。这一构造既可防止淡水渗入井内，又在一定程度上减少了盐井的塌方和陷落，延长了盐井的使用寿命。

4.用熟牛皮制作活塞式装置，在井口安装机械，使汲卤工效大大提高。

卓筒井一经问世，即得到迅速推广，从而极大地促进了古代井盐业的发展。到了元朝和明朝，卓筒井几乎完全取代了其他旧井型盐井。

除钻井技术外，煮盐工艺也是井盐开发工艺中的重要组成部分。

早期井盐的煮盐方法，一是加薪煮水得盐，一是用盐池晒盐。前者劳工费力，所需柴草量极大，以致为煮盐而滥伐林木，严重破坏生态环境；后者则很费时，工效较低。为解决这一问题，人们又寻找出了新的燃料来源——天然气。

中国是世界上最早利用天然气的国家，天然气最早的应用即是井盐开发中的煮盐。至迟在东汉末年，中国已开始用天然气煮卤。《后汉书·郡国志》中记载：“蜀郡临邛”有“火井”（天然气井），当地人“取井火还煮（盐）井水，一斛水得四五斗盐。家火煮之，不过二三斗盐耳。”

火井的开发和利用，大大节省了煮盐的劳动力，通常一口气旺的火井，

可供几十口锅煮盐之用，从而促进了井盐生产规模的不断发展，也促进了钻井技术的不断提高。清道光年间（1821—1850年），凿成了一口深1000米以上的天然气井，创造了世界深钻的新纪录。中国在天然气的利用方面，比欧洲（1668年）要早1300年以上，而深井技术，也比西方早1000多年。

（李劲松）

### 铜绿山古铜矿遗址

先秦时期青铜冶铸的高度发达，也从一个侧面反映了铜矿开采技术的先进。湖北省大冶铜绿山的古铜矿遗址，向人们展现了从商周至汉代铜矿开采状况和采矿技术的发展过程。这是迄今发现的中国最早的古矿遗址，在世界矿业史上也是不可多得的珍贵遗存。

清代所修《大冶县志》记载，铜绿山“山顶高平，巨石对峙，每骤雨过时，有铜绿如雪花小豆点缀土石之上，故名。”这里，铜矿富集，矿体规模大，而且矿石含铜品位高，成为中国古代一个重要的采铜中心。至今，地上堆积着40万吨以上的古代炼渣，地下古矿井分布密集，还有多种形式的炼铜竖炉，记录着古代矿冶生产的宏大规模和卓越技术。

商代遗址采用的是群井开采方法。井筒打在矿体内，下掘井筒就是开采矿石，掘进终了即开采完毕。继续开采又另打新井。群井开采简单易行，井深一般为20~30米，开挖在软岩或围岩蚀变带内，用打水井的工具即可掘进。提升矿石和废石，采用大轮导向往返拉动。

西周的遗址仍用群井开采。井为方形，井深与商代相同。井中有支护遗址，支护形式为间隔支护，距离40~60厘米。井框木为带榫的套接方式，榫口一律凿成方形。井框外，四壁先背一层竹席，竹席内间格敷有直径4~5厘米的木枝条。这时期已出现有巷道、平巷，但处于初始阶段。

春秋战国时期已采用竖井、斜井、平巷的联合挖掘，初步形成了地下开采系统。其中，斜井的掘进施工和支护技术都有较大的难度，它的出现，是坑采技术的一大进步。斜井的倾度因地而异，中25度至70度不等。斜井的作用不仅可以沿矿体倾斜延伸，节省人力和费用，而且还有探矿的作用。平巷和竖井也较西周时期有明显的进步，最大井深达64米，延伸至潜水面下8~10米。春秋时期主要的开挖工具为铜制，战国时期则主要应用铁制工具。同时，这时期已比较成功地解决了有关掘进、通风、排水、照明、运输、支护等一系列问题。这些技术，在当时世界上都是无与伦比的。

铜绿山遗址现在已被作为重要的文化史迹，受到国家的保护。

（郑俊祥）

### 青铜冶铸

从世界范围看，古代美索不达米亚人大约于9000年前开始利用自然铜，6000年前有了铜的冶炼，5500年前有了青铜；古埃及大约于7000年前开始炼铜，5000年前有了青铜。相比之下，中国对于铜的加工和利用要晚得多，大约在四五千年前方有自然铜的利用和青铜的冶炼。但是中国不像其他古文

明地区那样，曾经经历过较长时间的炼制红铜阶段，而是在红铜加工出现不久就开始冶炼青铜，并利用青铜熔点低，易于浇铸的特点，使青铜冶铸技术迅速发展起来，一跃而跨入世界先进行列，并居领先地位，创造了举世瞩目的青铜文明。

迄今出土或传世的大量先秦青铜器，向人们展示着中国青铜文化的盛况。其中，河南殷墟出土的重达 875 公斤的司母戊鼎；湖北随县曾侯乙墓出土的大型编钟，总重量达 10 吨以上，以及精巧绝伦的铜尊盘；在地下埋藏 2500 多年，表现依然花纹清晰、光彩照人的越王勾践剑和吴王夫差剑；等等，都堪称世界之最。这些青铜器物，反映了当时青铜铸造技术的高度发展水平，包括浑铸、分铸、失蜡法、焊接、镶嵌、表面处理等工艺的高超程度。

高超的青铜铸造加工的技术工艺，是以高超的青铜冶炼技术为基础的。没有优质的青铜材料，就不可能产生优秀的青铜器物。当时的人们已经熟练地掌握了青铜的冶炼技术，而且已掌握了鉴定青铜质地是否精纯的方法。这就是在《考工记》一书中记载的火焰颜色判定法。

《考工记》中说，在冶炼青铜时，铜料与锡料中会先冒出黑浊的气体，“黑浊之气竭，黄白次之；黄白之气竭，青白次之；青白之气竭，青气次之，然后可铸也”。近代科学证明，金属加热时由于蒸发、分解、化合等作用，会产生不同的颜色。冶炼青铜时，原料中所附着的碳氢化合物会燃烧，产生黑浊的气体；随着炉温的升高，原料中所含的氧化物、硫化物等杂质会产生黄白、青白的气体；到只冒青气时，说明杂质已基本去除，青铜已经炼成，可以浇铸了。这是冶金史上关于火焰颜色鉴别法的最早记顺便应该指出的是，“炉火纯青”是我们常用的一句成语，用来比喻功夫达到纯熟完美的程度。其来源，现在通用的一般辞典中都说是来自道家炼丹成功时火焰发青，有的还加注“迷信”二字。这种说法恐有误。它的最早出现应是上引的《考工记》记载。

（金秋鹏）

### 最早的合金规律—“金有六齐”

青铜是铜、锡、铅的合金，可分为铜锡合金、铜铅合金、铜锡铅合金 3 种。通过生产实践，春秋战国时人们已逐渐认识到青铜的合金成分配比不同，其性能存在着一定的差异，于是人们开始采用控制铜、锡、铅的含量配比，来生产性能各异、适合于不同用途的青铜。在此基础上，人们又开始有意识地总结青铜合金的配比规律，来指导生产实践。当时成书的手工业生产规范性著作《考工记》中，就记载有 6 种铜锡合金的成分配比规则，称之为“金有六齐”。

“金有六齐”中的“金”指的是铜，“齐”古时通“剂”，这里是方剂、剂量的意思。所谓“金有六齐”，就是“六分其金而锡居一，谓之钟鼎之齐；五分其金而锡居一，谓之斧斤之齐；四分其金而锡居一，谓之戈戟之齐；三分其金而锡居一，谓之大刃之齐；五分其金而锡居二，谓之削杀矢之齐；金锡半，谓之鉴燧之齐。”也就是在这 6 种铜锡合金中，含锡量分别为 16.7%，20%，25%，33.3%，40%，50%。这是世界上最早的关于合金配比的经验性科学总结。

从上引“六齐”的总结性文字中，可以看到不同配比的青铜，其用途也不一样，这是符合科学原理的。“六齐”中的“钟”指编钟之类的乐器，“鼎”指礼器，“斧斤”为工具，戈戟、大刀、削、杀、矢为兵器，“鉴”指铜镜，“燧”专指可以聚光取火的凹面铜镜。近代科学分析表明，含锡量 17%左右的青铜，呈橙黄色，外表美观，声响效果较佳，耐腐蚀性较好，正好适应铸造钟鼎之类器物的要求。锡的含量增大，青铜硬度增加，但质地变脆而易于断裂；锡的含量减少，则青铜硬度下降，但韧性提高。刀、削、矢一类兵器需要有较高的硬度，故含锡量相应较高；而斧、戈、戟之类工具和兵器要求有一定的韧性，以提高使用寿命，故含锡量相应偏低。铜镜需要磨光，使呈银白色的光泽，要求质硬，不怕脆，故含锡量最高。由此可见，“六齐”具有甚高的科学性，它大体上正确反映了青铜合金的配比规律。

（金秋鹏）

### 湿法炼铜

湿法炼铜，也叫胆铜法，这是中国历史上在炼铜技术上的一项重大发明。今天，铁元素比铜元素活跃，它能在铜盐溶液中，经过置换反应，置换出铜来，这已是最基本的化学知识。而这种置换反应，却是由中国首先发现，并加以实际利用的。

铁铜置换反应的发现，是炼丹家在化学方面的一大贡献。他们在炼丹实践中，观察到这一置换现象，并不断加以记录和总结。现知这一置换现象的最早文字记录，是 2000 多年前的西汉时成书的《淮南万毕术》一书中所记载的，“曾青得铁则化为铜”。曾青，又叫空青、石胆、胆矾，为天然的硫酸铜。硫酸铜一般是蓝色结晶体，因在空气中会部分风化失去水分，而呈白色，故又有白青之称。曾青是炼丹家在炼丹活动中的常用药物，被认为“久服身轻不老”。它亦被引入医学，作为治疗疮疖等疾患的用药，故中药本草著作中也有记载。汉代成书的《神农本草经》中，即记有石胆“能化铁为铜”。不单是硫酸铜会与铁起置换反应，其他可溶性铜盐也会与铁起置换反应。对此，古代的炼丹家和药物学家也有所发现。南北朝时著名的炼丹家和药物学家陶宏景就说：“鸡屎矾……投苦酒中，涂铁皆作铜色。”苦酒即醋酸，鸡屎矾可能是碱性硫酸铜或碱性碳酸铜，因难溶于水，要加醋酸方能溶解。

所谓胆铜法，就是把铁放在胆矾溶液（胆水）中，使铁离子置换出胆水中的铜离子，从而析出单质铜的冶铜方法。胆铜法，是一种先进的炼铜方法，为中国所首创。与火法炼铜相比较，它有着多方面的优越性。它可以就地取材，在胆水多的地方设置铜场，设备简单，技术操作容易，成本低；只要把薄铁片或碎铁块投入胆水槽中浸渍，就可获取铜，而且铜质精纯。它的冶炼过程是在常温下进行的，可以节省大量燃料，免除鼓风、熔炼等设备，也减轻了炼铜工人的劳动强度，并减少环境污染。而且，胆铜法不管是贫矿还是富矿，都可使用。

胆铜法何时由炼丹家的炼丹实验转成工业生产，现在尚不清楚。有人推测在唐末或五代已经开始湿法炼铜，而在北宋时已经实际应用并得到推广，却是确定无疑的。在 11 世纪末叶，北宋哲宗时的张潜已著有湿法炼铜专著《浸胆要略》，尽管此书已经佚亡，但却反映了当时已有一整套湿法炼铜的工艺，

并已有有人进行了总结。据《宋会要辑稿》记载，北宋时用湿法炼铜的地区有 11 处，分布在广东、湖南、江西、福建、浙江等地。其中，信州铅山（今江西省铅山县）的冶铜工场有浸铜沟漕 77 处，绍圣三年（1096 年）产铜 38 万斤；而广东韶关岑水的工场，在政和六年（1116 年）产铜达 100 万斤之多。据统计，在 1107 ~ 1110 年间，北宋政府每年收铜 660 万斤，其中胆铜有 100 多万斤，占 15 ~ 20%。到南宋时，政府收取的铜中，胆铜所占的比例达到 85 % 之多。湿法炼铜的方法，在明、清两代仍继续采用，至今仍有些地区用此方法炼铜。

（金秋鹏）

### 生铁冶铸和柔化术

与炼铜一样，中国冶铁技术的发明亦晚于其他一些古文明发达的国家和地区。埃及大约在公元前 1000 年左右开始进入铁器时代，美索不达米亚地区大约在公元前 1200 年左右开始进入铁器时代，爱琴海地区大约在公元前 1000 年左右开始进入铁器时代，印度大约在公元前 800 年左右开始进入铁器时代，而中国则是在公元前 600 ~ 500 年左右开始炼铁的。但是，中国不似其他国家和地区，经历了一个漫长的块炼法冶铁的时期，而是很快发明了生铁冶铸技术和生铁柔化技术，因此后来居上，很快跃居世界冶铁事业的前列，并长期居于世界领先的地位。历史上中国的钢铁除输往邻近国家外，还曾远销古罗马和东南亚。

在历史上，炼铁方法主要有两种，一是块炼法，一是生铁冶炼。块炼法是在比较低的温度下进行的，它用烧红的木炭使铁矿石直接由固态还原成铁。用块炼法炼得的铁质地疏松，故有海绵铁之称。海绵铁含夹杂物较多，要把它制成铁器，必须经过反复加热锻打。生铁是在 1100 ~ 1200 的炉温下，由还原出的固态铁吸收碳而炼成。由于其熔点低，冶炼时呈熔融状态，可直接用范浇铸成器，从而免除了块炼铁加工费工费时的缺陷，提高了生产效率，降低了成本，使铁器的大规模、高效率生产成为可能。中国在公元前 6 世纪即已发明了生铁冶铸技术，这项技术在世界领先约 2000 年。罗马人虽在公元前后也偶尔炼出过生铁，但却被当作废品而抛弃，直至 14 世纪时，欧洲人才认识到生铁的意义，开始生产生铁。

生铁的最大特点是其可铸性，故又称铸铁。但生铁含碳量高，一般都在 2% 以上，往往又含有硫、磷等杂质，因而性脆，韧度低，直接铸造出来的农具、工具和兵器，使用时容易断裂。为了弥补这一缺陷，我们的祖先在战国时期又发明了铸铁柔化术。

中国早期的铸铁柔化术可分为两类：一类是在氧化气氛下对生铁进行脱碳热处理，使成白心韧性铸铁；一类是在中性或弱氧化气氛下，对生铁进行石墨化热处理，使成黑心韧性铸铁。在西方，白心韧性铸铁的生产技术是 1722 年由法国人发明的，黑心韧性铸铁是 1831 年在美国问世的。到汉代时，铸铁柔化术又有新的突破，形成了铸铁脱碳钢的生产工艺，可以由生铁经热处理直接生产低、中、高碳的各种钢材。

铸铁柔化术的发明，在冶金史上是一项具有划时代意义的成就。它大大加快了铁器取代铜器的历史进程，有力地促进了社会生产力的发展，使中国



社会迈入一个新的发展时期。

值得一提的是，大约在明代时，出现了从生铁到熟铁连续生产工艺。据《天工开物》记载，这项技术是把炼铁炉与炒铁炉串联在一起，让由炼铁炉炼出的生铁液流入炒铁炉，用柳木棍急搅，使生铁液中的碳份氧化，而成熟铁。这种连续生产的工艺，已初具组合化生产的系统思想，既提高了生产效率，又减少了能耗，是冶铁技术的又一重大突破。

(金秋鸣)

## 灌钢技术

灌钢技术是中国历史上在炼钢技术方面的一项重大发明。其工艺过程大致为，将生铁与熟铁合炼，因生铁熔点低，熔化后的生铁水就会向熟铁中渗透，使熟铁增加碳份而成钢。因生铁水像灌进熟铁一样，故称灌钢。这种炼钢方法无需加热锻打，碳份分布均匀，且可去除部分杂质，得到的即是优质钢材，可用以制造刀锋的锋刃。在 1740 年西方坩锅炼钢法发明之前，是世界上最先进的炼钢方法。

灌钢法大约创始于 5 世纪后半叶的南北朝时期。陶弘景说：“钢铁是杂炼生柔作刀镰者。”“生”指生铁，柔指柔铁，即熟铁。北齐的冶金专家綦母怀文也说：“造宿铁刀，其法烧生铁精以重柔铤，数宿则成钢。”他用灌钢造出的宿铁刀，是当时的名刀，非常锋利，可“斩甲过三十札”。也有人认为，东汉末年王粲《刀铭》中的“灌辟以数”，西晋张协《七命》中的“乃炼乃炼，万辟千灌”，其中之“灌”即指灌钢。如是，则灌钢的创始年代可提前到 3 世纪在灌钢技术应用的初期阶段，需经多次灌炼，方能成钢。宋以后灌钢技术不断得到改进。据史籍记载，其加工工艺大致可分为 3 种，其发展趋势是减少灌炼次数，以至一次炼成。

第一种加工工艺，是北宋沈括在《梦溪笔谈》卷三所记载的，“世间锻铁所谓钢铁者，用柔铁屈盘之，乃以生铁陷其间，泥封炼之，锻令相入，谓之团钢，亦谓之灌钢。”其中，把柔铁屈盘起来，是为了增加生熟铁的接触面，提高灌钢的效率，并使碳份分布更加均匀；封泥则可以促进造渣，去除杂质、并起保护作用。《梦溪笔谈》中还说，“二三炼则生铁自熟，仍是柔铁”，反映了加工时灌炼次数的减少。

第二种加工工艺，记载于明代宋应星的《天工开物》卷十四之中。它把柔铁屈盘改为薄熟铁片，进一步增加了生熟铁的接触面，加速了“生熟相和，炼成则钢”的进程，泥封亦改为草泥混封，反映了明代灌钢技术的改进。

第三种加工工艺，是自清代至近代盛行于江苏、安徽、湖北、湖南、四川、福建等地的“抹钢”或“苏钢”。其特点是，先将料铁加热，再把生铁板的一端伸入炉中，待生铁熔化时，用钳夹住生铁板的一端，并不断移动，同时不断转动料铁，让生铁水均匀地滴在料铁上，再经锻打，去除杂质。这种方法有利于去除夹杂，提高金属的收得率。

(金秋鹏)

## 叠铸技术

中国冶金史上的一个突出特点，是铸造技术占有很重要的地位，以至于铸造既作为成形工艺而存在，又成为冶炼工序中的一个组成部分，达到了“冶”与“铸”密不可分的地步。因此，在古代文献中往往是冶铸并称，而且对中国文化产生了深刻的影响。如常用词汇“模范”、“范围”、“陶冶”、“熔铸”、“就范”等，都是由冶铸技术演生而来的。这种冶与铸密不可分的冶金传统，是古代世界上其他国家和地区所无法比拟的。

中国铸造技术可以说是伴随青铜冶炼而产生与发展，其后又随着生铁冶炼而持续发展着。历史上，在铸造技术方面有很多重要的发明，并取得过很多重要的成就。例如，被认为是中国古代文明象征的商周到战国的青铜器；在某种意义上可以说是铸造技术所造就的。从重 875 公斤的司母戊方鼎、精美的曾侯乙尊盘和大型的随县编钟群，以至大量的礼器、日用器、车马器、兵器、生产工具等，可以看到当时中国已经非常熟练地掌握了综合利用浑铸、分铸、失蜡法、锡焊、铜焊的铸造技术，在冶铸工艺技术上已处于世界领先的地位。而叠铸技术则是在铸造方面的又一重大发明。

所谓叠铸，是把许多个范块或成对范片叠装在一起，由一个共用的浇口和浇道进行浇注，一次可以得到几十件，以至上百件铸件。它可以批量生产，生产效率高，成本比较低，又能够节省造型、浇注的用地，是一种比较先进的铸造方法。这种方法在西方是随着大机器生产才出现和发展起来的，至今仍被广泛采用。而在中国，这种方法在 2000 多年前的战国时期已经开始应用。

现在发现的最早叠铸件，是战国时齐国的它是用铜质范盒翻制出具有对称性和互换性的范片，每两方合成一层，再多层叠合浇注而成。

在汉代，叠铸技术得到了很大的发展。本世纪 70 年代，在陕西咸阳、西安，河南南阳、温县，山东临淄等地，都曾多次出土有汉代的叠铸泥范。其中，以温县烘范窑中出土的叠铸范数量最多，保存最为完好，计出土有 16 类、36 种规格的叠铸范 500 多套。每套铸范由 5 至 14 层叠成，最少的一次可浇铸 5 件，最多的达 84 件。这些铸范的设计和制作都很精细。据分析，用这些铸范浇出的铸件，表面光洁度可达五级（计分十四级），金属收得率可达 90%，工艺水平已相当先进。而且，从中还可以看到当时已具备了制范、烘范、叠装、浇铸、成器等一整套成熟的生产工艺。

（金秋鹏）

## 鼓风设备

金属冶炼和陶瓷烧制都需要高温，而高温必须依靠鼓风设备方能获得。可以说，先进的冶炼技术是与先进的鼓风机械分不开的。在近代技术兴起之前，中国的鼓风机械在世界上是最为先进的。

早期的鼓风设备叫囊，又称囊籥（音 tuóyuè）、鞴（音 bèi）等。囊，为用牛皮制成的革囊，用以鼓风；鞴，原指吹口管乐器，这里借喻输风管。囊至迟在公元前 5 世纪的春秋末期即已出现。在《墨子·备穴》中，记有“炉囊，囊以牛皮，炉有两甗（音 f u），以桥（即桔槔）鼓之”，还记述有在战争中用囊将灶上烟火鼓入地道，以阻止从地道来犯之敌。

从汉代画像石中，可以看到早期囊的形状和构造。它是由 3 个木环、两

块木板、外裹皮革而成，可以伸缩。其伸，空气通过阀门进入囊中；其缩，囊中的空气通过排气阀门，经由输风管而进入冶炼炉中。汉代的炼铁炉已很高大，要用多个囊，并排在一起，称排囊，简称“排”。用人力操作者叫“人排”人排甚费人力，故有人发明了利用马来操作的“马排”。东汉的杜诗在建武七至十四年（公元 31 - 38 年）任南阳（今河南南阳）太守时，又发明了用水力驱动的“水排”。《后汉书·杜诗传》说他“造作水排，铸为农器，用力少，见功多，百姓便之。”

大约在唐宋时期，皮囊式水排被木扇式水排所代替。从元代《王祯农书》中的记载和插图，可见其形式和结构。它是用木板制成立方体的箱体，依靠其中一面木板的启闭运动，而把气流送入冶炼炉。它以水力驱动，“掬冶甚速，过于人力”。

大约在宋代时，鼓风设备有了突破性发展，出现了拉杆活塞式风箱。在明代宋应星《天工开物》中，画有 20 个风箱图。这些风箱，分别出现在卷中《冶铸》的铸千斤钟与仙佛像、铸鼎、铸钱，以及《锤锻》中的锤钲与镗，卷下《五金》中的熔礁结银与铅等的插图中，表明了活塞式风箱明代时已在冶炼、铸造、金属加工中广泛应用。从这些风箱中，可以看到其中有的拉杆面及对面各有二个进气瓣；有的拉杆面一个进气瓣，对面二个进气瓣；有的拉杆面一个进气瓣，对面未画出；有的拉杆面没有进气瓣，对面未画出。前 3 种推拉拉杆时均可鼓风，可得到连续气流，第四种只有推拉杆时进风，得到的是间歇性气流。不同类型的风箱可能是适应不同温度的需要而设计和制造的。

活塞式风箱的问世，是鼓风设备的重大创新。它的构造与原理已与近代风箱一致。李约瑟博士曾引述 19 世纪科学著作家尤班克的话，评价活塞式风箱的科学价值和历史地位，说：“最完美的鼓风机和近代改良泵的杰作”，都是中国活塞式风箱的“仿制代改良泵的杰作品”。

(金秋鸣)

## 炼锌技术

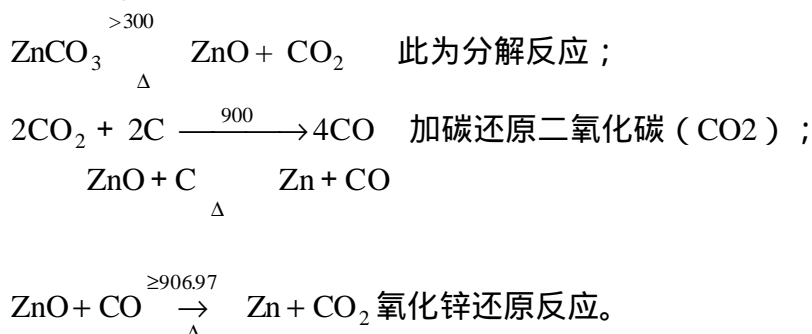
冶炼制取金属锌十分困难。由于氧化锌的还原温度为 904℃，锌的沸点为 906.97℃，二者非常接近，所以在冶炼还原制锌过程中首先得到的锌是气态锌。这就导致了在金属锌冶炼工艺上要求很苛刻：一方面，如果没有快速冷凝回收手段，则气态锌会迅速氧化，或与炉气中的二氧化碳化合，复为氧化锌，这就不可能得到单质金属锌；另一方面，如果冷却温度过低，又会造成粉状锌产品出现。因此，金属锌的冶炼，要求具备较高的冶金工艺基础。

中国是世界上最早炼制金属锌的国家，古代又称锌为“白锡”、“倭铅”。炼锌的起始年代尚无定论，但至迟在北宋时，民间已开始使用锌。中国炼锌自古沿用火法炼锌技术，即高温还原方法，这一工艺到明代已相当成熟。宋应星在其《天工开物》一书中，对火法炼锌工艺有着详细的记述：

“每炉甘石十斤，装载入一泥罐内，封裹泥固，以渐研干，勿使见火拆裂。然后逐层用煤炭饼垫盛，其底铺薪，发火煅红，罐中炉甘石融化成团，冷定毁罐取出，每十耗其二，即倭铅也。”

文中的“倭铅”，就是锌。明末，中国沿海地区常常受到凶猛的倭寇滋

扰，因此，宋应星“以其似铅而性猛，故名之倭铅。”文中“研”，意为磨光。由文中所述可知，中国古代炼制锌的原料为“炉甘石”，即菱锌矿，化学组成  $ZnCO_3$ ，其反应过程为：



其中碳的来源为文中所述的“煤饼”及“薪”，当时产出率为 80%。

中国古代炼锌工艺水平很高，所制单质锌纯度较高。20 世纪初，广东省发现了一些锌块，上面镌有“明万历十三年乙酉”（1585 年）的字号，其纯度达 98%。可以说，中国古代炼锌技术的发明创造，是中国和世界冶金史上的一项杰出成就，这种技术对后世炼锌生产工艺产生了重大影响。时至今日，世界冶金行业火法炼锌工艺仍基本遵循这一工艺原理。

西方最早炼锌的国家是英国，开始炼锌的时间是 1738 年。英国的炼锌技术是由劳逊博士来中国考察后带回去的。16 世纪以后，中国生产的单质锌块大量流入欧洲。1872 年，在瑞典西海岸的哥德堡海港附近，打捞出一艘于 1745 年由广州出发驶往欧洲的货船，船上载有大量锌块，纯度为 98.99%。中国古代炼锌技术随着中国古代科技文化向国外的传播，而称誉海内外。

（李劲松）

## 指南车

指南车是中国古代用于指示方向的一种轮车式机械，又称“司南车”。一般在皇帝出行时使用，作为皇权象征的仪仗车辆之一。

关于指南车的发明，在历史上有这样的传说：

距今 4600 多年前，在北方有两个部族，一个姓姜，其首领是神农氏炎帝；一个姓姬，其首领是黄帝。在这两个部族的附近，又有一个九黎部族，酋长叫蚩尤。九黎部族非常强悍，经常侵袭姜姓和姬姓部族。有一次，蚩尤又率领部众攻打姜姓部族。姜姓部族在神农氏的带领下奋起抵抗，可是在战斗中却遇到大雾，迷失了方向，结果大败。为了保护自己的部族，神农氏向黄帝求救，两个部族于是联合起来，共同抵御蚩尤的侵略。不料作战时又遇到大雾，黄帝的部众虽然英勇善战，也无法取胜。为此黄帝特意制造了一辆指南车，利用它来识别南北，使不致于在战斗中因雾迷失方向，终于大败九黎族，生擒了蚩尤。

历史上还有另外一个传说：

在 3000 多年前，周公协助周武王推翻了商朝暴君纣王的统治，建立了周朝。周武王死后，周公又代周成王治理国家政事，一时天下太平，万邦来朝。远在今越南境内的越裳氏也派遣使者，携带礼物来向周王朝致贺。为了答谢他们的盛意，周公造了一辆指南车，赠送他们，好让他们能够顺利回国，不

致在路上迷失方向。

传说终究是传说，不能代替史实。从科技史的角度看，在黄帝和周公所处的时代还不可能发明和制造指南车。指南车究竟于何时和由何人发明，现在已成历史悬案。《三国志·魏书·马钧传》记载，马钧在魏明帝时（227—239年）任给事中，曾与人讨论指南车；他认为过去有过，但已失传。他奉魏明帝之令，重新制造出了指南车。

指南车的机械传动和自动控制原理十分巧妙，它是通过齿轮系的配合作用来完成的。简单来说，齿轮系由与指示方向的木人相联接的大齿轮（或主齿轮）及与车子左右车辕相联接的左右小齿轮系统组合而成。当车子向正南方向行驶时，大齿轮与左右小齿轮系统脱离，木人不受车轮转动的影响；当车子偏离正南方向，向左转弯时，车辕的前端即向左转动，而其后端则向右转动，这时，右侧的小齿轮系统即与大齿轮啮合，进而产生传动作用，使木人向右旋转，车子转动（向左）的角度正好与木人向右转动的角度相等，二者作用相消，故木人仍指向正南方，反之，车子向右转弯，亦有相同效果。于是，当调定木人指向正南方向后，只要车子偏离正南，木人都能应时调整，从始至终直指正南方，为车队外出行进，指明正确的方向。

指南车是中国历史上一项杰出的机械发明。它的结构简单，构思灵巧。它的创制，表明至迟在三国时已对齿轮系统的传动原理有了较深刻的认识。

（李劲松）

## 记里鼓车

记里鼓车是中国古代用于计算道路里程的车，由“记道车”发展而来。有关记道车的文字记载最早见于汉代刘歆的《西京杂记》：“汉朝舆驾祠甘泉汾阳……记道车，驾四，中道。”可见至迟在西汉时期，即已有了这种可以计算道路里程的车。到后来，因为加了行十里路打一下鼓的装置，故名“记里鼓车”。它是皇帝出行时仪仗队专用车辆之一。记里鼓车又有“记里车”、“司里车”、“大章车”等别名。有关它的文字记载最早见于《晋书·舆服志》：“记里鼓车，驾四。形制如司南。其中有木人执槌向鼓，行一里则打一槌。”晋人崔豹所著的《古今注》中亦有类似的记述。因此，记里鼓车在晋或晋以前即已发明了。

记里鼓车图《宋史·舆服志》对记里鼓车的外形构造有较详细的记述“记里鼓车一名大章车。赤质，四面画花鸟，重台匀栏镂拱。行一里则上层木人击鼓，十里则次层木人击镯。一辕，凤首，驾四马。驾士旧十八人。太宗雍熙四年（公元987年）增为三十人。”

由上述文字可知记里鼓车的外形十分精美，充分显示出当时手工技艺的高超水平。

记里鼓车的记程功能是由齿轮系完成的。车中有一套减速齿轮系，始终与车轮同时转动，其最末一只齿轮轴在车行1里时正好回转一周，经机械传动系统作用，车子上层的木人便击鼓，以示里程。至于“十里击镯”的记程原理，同击鼓记里的机械原理大同小异，只是这一减速齿轮系的末端齿轮是在车行10里时正好回转一周，因此“十里一击镯”。

417年，刘裕率军打败晋军，将缴获的记里鼓车、指南车等运回建康（南

京)。后宋太祖平定三秦时又将其缴获。宋仁宗天圣五年（1027年），内侍卢道隆又造记里鼓车，《宋史·舆服志》对卢道隆的记里鼓车齿轮系设计有详细记载。后来吴德仁又重新设计制造了一种新的记里鼓车。吴德仁简化了前人的设计，所制记里鼓车，减少了一对用于击镯的齿轮，使记鼓里车向前走1里时，木人同时击鼓击钲。

（李劲松）

## 龙骨水车

龙骨水车，历史上又叫翻车，是中国古代发明的一种重要的水利灌溉机械。

大约是在东汉灵帝统治时期（168—189年），掖庭令毕岚发明了翻车、渴乌，安置在京师一座大桥的西面，用以给市郊南北大道洒水，以节省老百姓的开支。三国时魏国的马钧，曾在京师洛阳见到一块空地可以作菜园，但无水灌溉，于是对翻车进行了改造，改造后的翻车，“令儿童转之，而灌水自覆”。由于翻车操作省力，可以连续把水由低处提到高处，效力较高，故自其问世之后，便深受人们的欢迎，很快被推广使用。至今有些地方仍在使用。宋代诗人苏东坡曾作诗对龙骨水车作了生动而形象的描绘。说：“翻翻联衔尾鸦，荦荦确确蜕骨蛇。分畦翠浪走云阵，刺水绿秧抽稻芽。”

翻车被称为龙骨水车、是因为其关键构造像龙骨。那么，龙骨水车的构造是如何的呢？对此，元代《王祯农书》和清代麟庆在其所著的《河工器具图说》中，曾作了详细地记述。其构造除压烂和列槛桩外，车身用木板作槽，长约二丈，宽四寸至七寸不等；高约一尺。槽中架行道板一条，宽窄与槽一致，但比槽板两头各短一尺，用以安设大小轮轴。行道板上下通周用龙骨板一节一节连接起来，有如龙的骨架一样。在上端大轴的两端，各带拐木四根，置于岸上木架之间。人扶着木架，踏动拐木，则龙骨板随转循环，在行道板上刮水上岸。这是脚踏的龙骨水车。当上下水面相差不多时，可以改用手摇龙骨水车。其构造与脚踏者基本相同，仅是把脚踏拐木改为用手摇转的木把。

龙骨水车最初是用人脚踏或手摇作动力。大约在宋元时期，龙骨水车在动力方面得到了重大的改进，出现了用畜力和水力作动力的龙骨水车。

畜力龙骨水车是在水车上端的横轴上装有一个竖齿轮，旁边立一根大立轴，立轴的中部装一大卧齿轮，让卧、竖二齿轮的齿相互衔接。立轴上装一根大横杆，由牛拉着横杆转动，经齿轮的传动作用带动水车运转。

水转龙骨水车的动力部分，是在水流湍急的河边先立一个大木架，中央竖一根转轴，轴的上、下各装一个大卧轮。下卧轮为水轮，轮上装有若干板叶，以便借水流的冲击力驱动水轮转动。上卧轮是一个大齿轮，与水车上端轴上的竖齿轮衔接。；当水轮转动后，即由齿轮的传动作用，带动水车运转。如水源比较高，也可以作一大的立式水轮。直接安装在水车的转轴上，带动水车运转。

龙骨水车是中国历史上最先进的提水灌溉机械，也是古代世界上最先进的提水灌溉工具。

(曾雄生)

## 水力大纺车

“车纺工多日百舳，更凭水力捷如神。世间麻乡中地，好就临流置此轮。”这是元代科学家王祯在其所著《农书》中，介绍水力大纺车后所作的一首诗，诗中描述了水力大纺车的功效，并期望它能在临溪流地区得到推广。

中国古代的纺车兼有纺纱和加捻合线的功能，它经历了由手摇纺车到脚踏纺车，再到水力纺车，由单锭到多锭的发展过程。大纺车大约出现于宋代，它是在复锭脚踏纺车的基础上创制而成的。它的纺锭达到32个，同时问世的还有一种多锭纺纱车，锭数多达七八十个，达到了手工纺纱机器的顶峰。据研究，手摇纺车每人每日工作12小时，仅得四五两（十六两制）纱，使用脚踏纺车日产半斤余，用大纺车加捻麻缕可日得100斤，而用多锭纺纱车则日产棉纱10余斤。可见使用大纺车及多锭纺纱车后，其生产效率大为提高，而且纺出的纱线越来越细，条于均匀，强度增加。

大纺车由加捻卷绕、传动和原动3部分构成。加捻卷绕包括车架、锭子、导纱棒和纱框等机构。其中的关键部分是锭子部分，它是在车架下方装置一长木板，在木板上装着32个间隔距离相等的木轴承（臼），用来承托锭子底部的铁锭杆。同时用有脚铁环楔入木板，用以固定锭子，使其运转时不会晃动。纱管由木车成，中空，套在铁锭杆上紧配成一体。大纺车一般用于纺制麻纱，麻缕比较粗松，如在纱管上绕得量少，就要经常停车换管。为减少换管，需将管边加大，使能容较多的麻缕，这在现代称之为“大卷装”。但管边直径如过大过重，则皮弦就无法靠摩擦带动锭杆迴转。为解决这一矛盾，古代的纺织工匠们利用杠杆原理，把锭杆加长，使锭杆在木轴承到有脚铁环之间的距离，等于或大于锭子前端木纱管的长度，又使铁环前移靠近纱管边，从而减少了锭杆在木轴承处的摩擦力。此外，为了使各根麻缕之间在加捻卷绕过程中不致相纠缠，在车架前面安装了32枚小铁叉。这些小铁叉在规定动程内作左右向的往复运动，不仅把相邻的麻缕隔开，而且能使麻缕在纱框上交叉卷绕成型良好。

水力大纺车出现于宋代，它是由大纺车与水转原动机构组合而成。其原动机构是一个直径很大的水轮，利用水流冲击水轮上的辐板，发生连续的推动力，促使水轮旋转。

水力大纺车是古代世界中的先进纺纱机械。在西方，直到1769年，方由英国人创造出水力纺机和建立欧洲第一个水力纺纱厂。

(金秋鹏)

## 提花机

提花机是织造提花织物的机械。中国古代能织造出五彩缤纷的丝织品，令举世倾倒，这是和提花机的发明和使用分不开的。

东汉王逸在《机妇赋》中，生动而形象地对提花机作了描述，说：“方员绮错，极妙穷奇，虫禽品兽，物有其官。兔耳踈伏，若安若危；猛犬相守，窞身匿蹄。高楼双峙，下临清池，游鱼衔饵，灏灏其陂，鹿卢并起，纤缴俱

垂，宛若星图，屈伸推移，一往一来，匪劳匪疲。”其中，“方员”即“方圆”，前4句说的是提花机能织出飞禽走兽、骑士花卉等错综复杂的花纹图案。“兔耳”、“猛犬”是织机上的两对机件。“兔耳”指卷布轴的左、右托脚，“猛犬”可能是指打纬的叠肋木，其下半部在机台下，故曰“窜身匿蹄”。“高楼双峙”是指提花装置花楼的提花束综和综框上弓棚对峙。挽花工坐在花楼上，口唱手拉，按设计的提花纹样来挽花提综，俯瞰光滑明亮的千丝万缕的经线，正如“下临清池”一样。“游鱼衔饵”，乃指挽花工牵动束综衢线，衢线下连竹棍为衢脚，极像垂钩一样，故以衔饵的鱼作比喻。提牵不同经线，有屈有伸，从侧面看如同当时人习惯画的星图，故说“宛若星图，屈伸推移”。“一来一往”形容引纬打纬，运动协调。

提花机何时发明，现在尚无法确定具体的年代。从现知先秦的丝织品花纹分析，商、周时期的织物花纹循环较小，可以用多综多蹻的织机织造；对于花纹循环变化大，组织复杂的大花纹，则用多综多蹻织机织制相当困难，必须使用更为先进的提花织机，而这种提花织机大概是从战国至秦汉时发展起来的。上述《机妇赋》中所描绘的提花机，反映了东汉时已有比较完善的花楼束综的提花织机。后来，提花机又不断得到改进，织造技术亦更趋先进。从唐代绫锦所织出的各种光彩夺目的秀丽图案上，可看到当时提花织造技术已达到高峰。

提花机由花机、花楼、衢盘、衢脚等部分构成，一般由两人操作。一人（挽花工，通常是小孩）坐在花楼上专司提花操作，一人（织工）坐在花机旁织作。

应用提花机织制花纹最关键技术，是挑花结本。其所制成的花本，是把花纹图样由图纸过渡到织物的桥梁。它是利用“结绳记事”的原理，根据纹样设计图的规律性，通过“同类项合并”，按一定规律把经丝编成很多组，并结集成一股股综绳，即挑结成花本。花本结好，上机织造。织工和挽花工互相配合，根据花本的变化，投梭织制，就可以织出瑰丽的图案。

这种用挑花结本记忆花纹图案变化的规律，就是现代提花机上穿孔纹板的前身，它是中国古代在纺织工艺上的一项重要贡献。

（金秋鹏）

## 缂丝

缂丝，又称刻丝、克丝、剡丝，它是用蚕丝作原料、用结织技术织造的一种高丝显花织物。它造型优美，织作精致，既是纺织物，又是艺术欣赏品，故成为最受人们珍爱的丝织工艺品之一。

缂丝的织造一般以本色丝作经，彩色丝作纬，用专门的小梭根据花型色彩逐次织入，织物上常会因垂线的花纹轮廓留下纬丝转向时的断痕，形成“通经迴纬”的结构特征。这种结织技术出现于汉代，用于毛织，唐代移用于丝织，宋元明三代达到发展的高峰。

缂丝的花纹、图案基本上采用画家的绘画作品，也就是把绘画移植到丝织上，用丝织来表现绘画。故其纬线依据绘画的色彩而选用彩丝，彩丝的色泽选择范围一般达1000多种，甚至多达五六千种。由于色彩花纹富于变化，故虽织百花，可以使其不相类同，而且因留有纬丝转向的断痕，层次分明，



有如雕刻一般，且有强烈的立体感，从而收到很好的艺术效果。

也正因为如此，所以缂丝历来受到人们的喜爱和赞誉。宋人庄绰的《鸡肋篇》中说，刻丝“以熟色丝经于木杼之上，随所欲作花草禽兽状。以小梭织纬时，先留其处，方以杂色线缀于经线之上，合以成文，若不相连，承空视之，如雕镂之象，故名刻丝。”元人孔行素在《静斋至正直记》中说，刻丝有数种，“有数品颜色者，有止二色者，（皆）宛然如画。”明人张应文在《清秘藏》中说，刻丝“不论山水、人物、花鸟”，皆“生意浑成”。可见缂丝艺术价值之高。当然，要用细细的彩色丝线，一根一根地织出花纹图案，还必须按原画织出色彩的浓淡和变化，是极其不易的。一个熟练的织工，要织一幅缂丝，往往得花数月的时间，而织一幅较复杂的图案，则得花上 1 年以上的心血。《鸡肋篇》中就说：“如妇人一衣，终岁可就。”这样，也就更增添了缂丝的珍贵。

现存传世的缂丝珍品，有唐代流传日本的“七条织成树皮色袷裳”，有北京故宫博物院的北宋“紫天鹿刻丝”、南宋沈子蕃的“梅鹊图”、朱克柔的“莲塘乳鸭图”、以及明代钩摹宋人赵昌的“四季花鸟卷”，有明十三陵定陵出土的龙袍等。历史上，缂丝技术的传播面很广，南北皆有，甚至一些边远的少数民族地区也能织造。但随着历史的推移，这一独特的织造技术几乎失传，近年，在江浙一带，缂丝技术重又受到重视，并有一定的发展。

（金秋鹏）

### 凌波之至宝——舵

操纵船舶航行方向的设备——舵是中国历史上的一大发明，也是中国对于世界造船和航运事业的一大贡献。

舵至迟在 1 世纪、2 世纪的东汉时期已经出现和使用。当时成书的《释名》中说：“其尾曰柂，柂拖也，在后见拖曳也，且弼正船使顺流不他戾也。”

即舵，弼有纠正、辅助的意思，戾即掣，意为扭转。也就是说，舵是拖在船尾，起着掌握航线，使船不致偏离航向的作用。

舵是由桨演变而来的。早期人们是通过划桨动作的变更来控制船只的航行方向，后来逐渐出现了专司航向的舵桨，并把其安装在船尾。舵桨从此便失去了划水的职能，不再离开水面，仅靠在水中左右摆动来掌握航向。其外形也不断得到改进，特别是桨翼变短变宽，增大了与水的接触面积，加强了控制方向的性能。舵也在这基础上应运而生了。

早期的舵柱是由舵尾斜伸而出的，还保留有舵的痕迹。在舵的实际应用中，人们对其不断加以改进，把舵柱改为垂直伸进水中，舵面跟舵柱的联接位置，也由舵面中部移至边上，于是变成了垂直舵。同时，还出现了平面舵，就是把一部分舵面面积分布在舵柱的前方，从而缩短舵压中心与舵轴的距离，减少转舵力矩，使操纵更加轻便。此外，中国古代还发明了一种开孔舵，就是在舵面上打许多小孔，这样不但转舵较为省力，而且由于水的表面张力的作用，不影响舵的性能，可称得上是一种别具匠心的发明。

舵的作用原理与桨不同，桨是通过划水时所产生的反作用力推动船只前进的。舵不划水，但当船舶航行的时候，船尾所产生的水流会在舵面上形成水压——舵压，由于舵压的作用，船舶就能改变航行的方向。舵压虽然很小，

但是因为它与船舶的重心距离比较大，所以使船体转动的力矩也比较大。根据杠杆原理，即可得知其推动船舶转动的功效很强，只要舵的大小适当，满载的大船也可在舵的作用下自如转向。正如南宋周去非在所著《岭外代答》中所说：“如一丝引千钧于山岳震颓之地，真凌波之至宝也。”舵大约在 10 世纪时被阿拉伯航海者所引用，世纪时又由阿拉伯传进欧洲。舵的使用使远洋航行成为可能，因此欧洲学者把舵的引进和使用，作为开创 15 世纪大航海时代的科学条件之一。

值得特别指出的是，类似宋代时使用的平衡舵，欧洲直到 18 世纪末、19 世纪初方开始采用，而且至今仍是船舶设计中降低转舵力矩的一个最普遍和有效的措施。

（金秋鹏）

### 健橹飞如插羽翰——橹

橹是中国在造船和航行技术中的一项杰出成就，有位美国学者甚至称它“可能是中国发明中最科学的一个”。

用桨划水使船前进，只是在划水的时候做有用功（实功），而在桨离开水面后的整个过程都做无用功（虚功），人力之浪费是可想而知的。能否找到一个巧妙的办法，使划动既省力又能连续做有用功呢？人们经过不倦地探索，终于发明了新的船舶工具——橹。

在历史上有这么个传说，说巧匠鲁班看到鱼儿摇动尾巴向前游动，就削木为橹。橹虽然不是鲁班发明的，但这传说却反映了橹是依据鱼儿摇尾前进的道理而创制。根据出土船模和文献记载，可以看到橹在公元前 1 世纪时已经问世。

橹的外形有点像桨，但比较大，支在船尾或船侧的橹担上，入水一端的剖面呈弓形，面呈弓形，橹的示意图另一端系在船上。用手摇动橹担绳，使伸入水中的橹板左右摆动。橹板摆动的时候，船只跟水接触的前后部分就会产生压力差，形成推力，推动船只前进，就像鱼儿摆尾前进一样。橹从桨的间歇划水变成连续划水，提高了功效，因此有“一橹三桨”的说法，意思是橹的效率可以达到桨的 3 倍。陆游更用“健橹飞如插羽翰”的诗句，来形容用橹推进的船像火箭一样快捷。而且橹巧妙地利用杠杆原理，只要来回摇动橹担绳就可以推动船只前进，减轻了用桨划水要把桨提出水面的笨重劳动，操作轻便，连老人、妇女、小孩都能够操纵。因此，这种结构简单、轻巧和高效率的船舶推进装置一经问世，便迅速地得到了推广，并在应用中不断改进。

橹最初是安装在船侧的，后来单橹船的橹移到了船尾。大船则安装有多支橹，橹数有 8 橹、10 橹，以至多达 36 橹的，有的装在船尾，有的装在船侧。橹的大小亦视船只的大小而不等，有 1 人、2 人、6 人摇的橹，也有 10 人以至 20 人、30 人摇的橹。元代阿拉伯旅行家伊本·拔图塔在其所著的《游记》中，记述有中国船上的橹，说：有的“像桅杆一样大，要用十到十五人来工作”，而且“一定要站着”；在沙船里大约有二十支橹，要三十人面对面地站成两行，往来摇动。为了使每个人所使的力整齐划一，在摇橹时要齐声合唱，经常喊的是“啦、啦、啦”。这段记述，为我们描绘了一幅生动的

摇橹图景，使我们仿佛听到了橹手们合唱摇橹号子的声音，看到橹手们摇橹推动船只前进的情景。

17、18 世纪时，来华的传教士把橹介绍到欧洲，引起了重视。1742 年英国海军在改造船舰的试验中，曾在一只小帆船上安装了“一组中国式摇橹”。18 世纪末、19 世纪初发明的螺旋推进器，亦曾受过橹的影响。

（金秋鹏）

## 水密隔舱

宋元时期，在西太平洋和印度洋的远洋交通中，中国的船舶一枝独秀，占据着主导性的地位。不但中国人乘中国船，沿岸各国，包括阿拉伯的商人、教徒、使节，也大多乘坐中国船。其重要原因之一是中国船舶安全可靠，而这是与水密隔舱结构的采用分不开的。

所谓水密隔舱，就是用隔舱板把船舱分隔成各自独立的一个个舱区。这种结构至迟在唐代即出现。泉州湾出土的宋代海船被分为 13 个舱，韩国新安海域出土的元代中国船分为 8 个舱。从这两艘古船上，可以看到当时水密隔舱结构的形式。

水密隔舱的采用，是造船史上的一项重大创新它改进了船舶结构，提高了船舶性能。

首先，它提高了船舶的抗沉能力，增加了人员和货物在航行中的安全性。由于各舱各自独立，即使有一、二个，甚至几个舱破损进水，水也不会流入其他的舱。从船的整体看，其浮力依然存在，不至沉没。如果进水较多，船体支撑不了，可以抛弃货物，减少负载，便能延缓下沉速度。这样，就可以立刻进行修补，或者驶到就近的港口修补。而没有水密隔舱结构的船舶，情况就完全不同，只要底壳破损进水，水就会漫及全舱。破损不大还可封堵，破损较大时，由于海水压力很大，就无法封堵，只好眼睁睁地看着船舶连同人员和货物葬身海底。由此可见水密隔舱结构意义之重大。

其次，由于厚实的隔舱板与船壳板紧密钉合，增加了船体的横向强度。而且隔舱板实际上起着肋骨的作用，从而取代了肋骨，简化了造船的工艺，并使船体结构更加坚固。

而且，由于分舱，不同的货主可以同时在各个舱中装货或取货，提高了装卸效率，货物也便于管正因为水密隔舱结构的优越性，因此它问世之后，很快被推广，并受到中外客商的欢迎。元代意大利旅行家马可·波罗在它的《游记》中，曾记述了中国的水密隔舱，说：“比较大一些的船，有十三个货舱，就是船里面的隔舱，是用硬木板装隔的，（与船壳）很紧地钉在一起。如此，若船发生意外，忽然触礁或受到鲸鱼的撞击而产生漏洞，这种事故是经常发生的……船员一旦发现漏洞，立即将舱里的货物，搬到别的舱里。由于这种舱隔绝得十分严密，所以一舱进水，并不影响其他船舱。等船员将损坏的地方修复以后，将货物仍搬回原处。”

泉州湾古船的水空闲田大约 18 世纪末，水密隔舱结构开始引起西方的重视。1787 年，美国著名科学家和政治家富兰克林在关于美国和法国间的邮船计划的信中，即指出采用中国的分舱方法，“对于乘客将是一种莫大的鼓励”。1795 年，英国在改造海军舰船时，就明确提出引用中国的水密隔舱结构。其

主持者本瑟姆将军说，他所造的船，“有增加强度的隔板，它们可以保护船只，免得进水而沉没，正像现在中国人做的一样。”从此，中国的水密隔舱结构，逐渐为欧美，以至世界各国的造船界所采用。

（金秋鹏）

## 车船——现代轮船的始祖

所谓车船，是一种带轮状推进器的船只。它以轮桨代替桨和橹作为推进工具，以脚踏轮桨取代划桨和摇橹。现国内外科技史家均一致公认，车船是近代轮船的始祖。

车船在8世纪时已经问世。其最早的文字记载，见于《旧唐书·李皋传》，说李皋“常运心巧思为战舰，挟二轮蹈之，翔风鼓浪，疾若挂帆席，所造省易而久固”。也有人认为南北朝时祖冲之所造的“千里船”，可以日行100多里，就是车船，但由于有关记载的文字过于简略，没有只言片语提到船上构造，故难于确定。

车船自出现后就一直被作为军事用船，南宋时期是其发展的鼎盛时期。这时期先后建造了大批车船，船体大小不一，轮数有四车、六车、八车、九车、十数车、二三十车，最多者达九十车。大型车船一般长二三十丈，吃水深一丈左右，可以载六七百名士兵。最大的车船能载一千多人，长三十六丈，宽四丈一尺，高达七丈二尺五寸。大中型车船上置有重型武器拍竿，制如大桅，长十余丈，上置巨石，下作轱辘贯其颠，遇到敌船时，即用拍竿发射巨石，将敌船击碎，战斗力很强。同时车船行驶快捷，进退皆可，轮桨外有护板防护，故在水战中屡建奇功。其著名的战例有：

1130年，洞庭湖钟相发动了反对南宋王朝的起义，钟相牺牲后，杨么继任为总首领。在宋军与义军的战斗中，宋军的都料匠高宣曾造二十至二十三车的大船，能载战士二三百人，使义军的小船无法抵挡。后来，车船连同制造者高宣被义军俘获，在二个月中高宣为义军建造大小车船十余艘，皆有二重或三重楼，轮数多者有二十二车、二十四车，大者可载千余人。于是义军愈益雄壮，“浮舟湖中，以轮激水；其行如飞，旁置撞竿（即拍竿），官舟迎之辄碎”，屡挫宋军。至1135年，杨么义军才因叛徒出卖，为岳飞所败。在历史小说《说岳全传》第二十八到三十回中，描述的岳飞与太湖起义军杨虎所进行的战斗，就是根据这段史实而编写的。

1161年，四十万金兵在国主海陵王完颜亮亲自率领下抵达采石（今安徽马鞍山市东岸），试图强渡长江。驻守采石的一万八千名宋军，在虞允文的带领下顽强抵抗。十一月初八日，完颜亮指挥几百艘战船强渡长江，为首的七十艘已抵达南岸，岸上宋军拼死抗击。这时，虞允文派遣车船猛烈冲击中流的金兵战船。由于金兵战船底阔如箱，行动不便，又不熟悉江中航道，大多动弹不了，故被宋军车船撞沉的达一半以上。经终日激战，宋军取得了采石第一战的胜利。第二天又打退了金兵的反扑，终于保住了采石，逼使金兵退回扬州。虞允文估计金兵将会进攻京口（今江苏镇江），继续南犯，于是率领一万六千人援助京口。他命令士兵踏车船在大江中来回巡防，船在江中回转如飞，令金兵惊骇不已，始终无法渡过长江。不久，金兵内乱，完颜亮被杀，南渡计划宣告失败。

现代的轮船虽然已经没有“轮”了，但其所以称之为轮船，乃是因为它最初是有“轮”的。最著名的轮船制造者是美国工程师富尔顿，1807年他在纽约制造的用蒸汽机做动力的明轮船“克莱蒙脱”号，其外形就与中国古代的车船相似。虽然我们还不知道轮船和车船有没有渊源关系，但其出现比中国的车船晚了1000多年。

(金秋鹏)

## 舫船与联环舟

连体船是中国历史上在造船工艺方面的重大发明。其连接方式有两种，一种是横向连接，一种是纵向连接，舫船与联环舟分别是这两种连接方式的代表。

横向连接的连体船在二几千年前的周代就已出现。当时有由多只船体连成的“造舟”，专供天子乘坐；有由4只船体连成的“维舟”，供诸侯乘坐；有由两只船体连成的“方舟”，供大夫一级的官员使用。“方”即为舫，是并两船为一船的专门称谓。由于由多只船体连成的船行动不便，因此，战国以后舫船成为主要的用船。

战国末期秦国国相张仪在劝说楚王不要与秦为敌时说，秦国西面据有巴蜀，大船积粟，自岷山浮江而下，至楚境三千余里，“舫船载卒，一舫载五十人与三月之食，下水而浮，一日行三百余里，里数虽多，然而不费牛马之力”，用不上10日就可以到达楚国边关。

汉初酈食其在劝齐王田广归汉的时候，曾分析当时天下归汉的大势，说，在刘邦的号召下，“诸侯之兵四面而至，蜀汉之粟方船而下。”

上列两段史籍记载，可见在战国和汉代时，舫船是重要的运输船只。直到南北朝时，长江和湘江一带，仍呈现着“方船连轴”的繁盛景象。

舫船在必要时还可以分解成单体船，可以说是世界上最早的分解船。西晋末期，顾荣被朝廷拜为侍中之职，从苏州起程赴任，到徐州时遇到战乱，便弃车乘舫船回返。至下邳（今江苏睢宁西北），他把舫船拆开，使用单船，日夜航行五六百里，终得避开战乱，安全返回家中。

由于大中型船舶的发展，舫船在南北朝以后就逐渐被淘汰了。舫的含义也起了变化，成了有雕饰彩绘的游船之代称。但是，随着科学技术的发展，一些在历史上被否定的事物，它的作用又重新被人们所认识，在更高的发展阶段中获得了新的生命。现代出现的双体船就是这样，并已被应用于客货运输、海洋勘探等方面。

联环舟为纵向连接的连体船，是明代水军的一种特殊用船。船长米左右，“外视之若舟，分则为二舟”。前半截占全长的 $\frac{1}{3}$ ，后半截占 $\frac{2}{3}$ 。前截后部钉有两个大铁环，后截前部装有两个铁钩。把铁钩钩住铁环，两舟成一舟；让钩脱离铁环，一舟又分为两舟。水战时，前截装易燃易爆的火药，后截载划桨的兵士，利用顺风或顺流冲击敌船。前截前端钉有带倒须的大钉数枚，撞上敌船后可与敌船钉连，使敌船难于解脱，而自身则因撞击的作用，环钩自解。然后兵士点燃火药炸毁或焚烧敌船，并划后截船返回本营。联环舟的使用在历史上被称为“水战之奇策”。现美国河运中应用的分解船，明确说

明是学自中国，其构造和原理与联环舟一致。

(金秋鹏)

## 郑和航海图

中国至迟在北宋末期(12世纪初期)就绘制了航海图,以供远洋航行时掌握航线之用。但明代以前的航海图已荡然无存,现可看到的航海图,以明代所绘者为最早。

中国古代的航海图大致可分为两大类。一类是记录舟船所经陆上地名、地物,以及岛屿、山礁、浅滩等的形状和位置。成书于1124年的《宣和奉使高丽图经》中的图虽已佚,但书中提到“谨列夫神舟所经岛洲苦屿而为之图”,可见是属于此类航海图。现存最早的此类航海图,是收入于明末兵书《筹海图编》中的“使倭针经图说”之附图。另一类是记录舟船所经港口,沿岸目标物(如城镇、山峰、宝塔、寺庙、桥梁、旗杆等),岛屿,浅滩,礁石,海中航线,指南针指向,方位星高度,航程以及水深等,标志着航海图已进入定量描绘的阶段,具有很高的实用价值和科学价值。《郑和航海图》即为此类海图之代表作。

《郑和航海图》原名为《自宝船厂开船从龙江关出水直抵外国诸番图》,是郑和下西洋远航后留下的遗物,因原名过于冗长而简称。此图因收入于明末兵书《武备志》而得以存世,是中国现存最早的航海图,也是世界最早的航海图之一。《武备志》说:“其图列道里国土,详而不诬。”它包括有航行图40幅,过洋牵星图4幅。图中共绘有530多个地名,分属于亚洲和非洲的30多个国家和地区。40幅航行图呈一字形长卷,展开后可合成为一幅从南京直至非洲东海岸的完整航海图,堪称世界航海史上之杰作。

图中标注有航线上的指南针取向,方位星(主要是北极星)出地高度,由此可以测定船舶在大海中所处位置的经纬度。图中还标注有从一地至另一地的航程,以及航线上关键地段的水深。这可以说是当时世界上最先进的导航图。

特别应该提出的是第三十五幅航行图,其上记载了“官屿溜用庚酉针一百五十更船收木骨都”。官屿溜就是现在马尔代夫群岛的马累,木骨都在今非洲东海岸索马里的摩加迪沙一带,庚酉针为指南针取向,即正西略偏南的方向,“更”为古代航程的计量单位,1“更”相当于30公里。也就是说图中所绘乃是横渡印度洋的航线。这是现在知道的关于横渡印度洋的最早明确记录,表明中国人是印度洋的最早横渡者。在此之前,由中国至非洲东海岸的海上交通,主要是沿着海岸线进行的。

至于4幅过洋牵星图,则是吸取阿拉伯天文航海术——过洋牵星术,结合中国传统航海天文学绘制而成。它反映了当时处于先进地位的中国航海者,也善于吸取国外的长处,来充实、完善和提高自己的航海科技水平。

(金秋鹏)

## 瓷器

瓷器是中国历史上一项伟大的独创性发明。精美的中国瓷器在历史上即已享誉世界五大洲。世界各国均受过中国瓷器之惠。直至今日，英语中的中国和瓷器仍是用同一个词 China。

瓷器的特点是坯胎以白色高岭土（也叫瓷土）为原料，表面施有玻璃质釉，在 1200℃ 左右的高温下烧结而成。成品的吸水率低，质地坚硬细致，敲击有清脆的音响。其颜色主要由釉里所含的金属元素决定。青瓷的釉里含有铁元素，在还原焰气氛中烧制，生成氧化亚铁。氧化亚铁的含量在 0.8% 到 5% 时，釉呈青绿色，颜色由淡到浓；如含量超过 5%，则颜色成暗褐色，甚至黑色。白瓷是单纯的石灰釉，要求坯料和釉中的铁含量越少越好。各种色瓷则是用含有起呈色作用的各种元素所制成，如红色的瓷器是由胶态单质铜的呈色作用引起的，青花瓷器釉中则含有钴元素。

瓷器的出现经历过一个漫长的发展过程。在商周时期的烧制陶器的过程中，就烧制出类似后世瓷器特征的器物来，现人们一般称之为原始瓷器。而瓷器烧制工艺的成型，并有意识进行生产，则开始于 1 世纪时的东汉时期。其后历代不断发展、创新，烧制工艺也更加成熟和完善，相继烧制出大量的各种瓷器制品。瓷器不仅在国内普遍使用，而且远销国外，唐宋时已成为中国的大宗出口商品。瓷器外销的途径有两条：一是陆路，包括西北的“丝绸之路”及西南的“南蕃古道”；一是海路，可及东亚、东南亚、南亚、西南业以至非洲东海岸，被誉为“海上陶瓷之路”。

在长期的生产过程中，形成了一整套的瓷器制造工艺流程。它主要包括有：选土、粉碎、淘洗、配料、制胎、修胎、绘制或印制花纹、上釉、装窑、烧窑等。宋以后又出现了釉下彩工艺，即在瓷胎上绘画或贴花，再上釉入窑烧制；还有烧制成瓷器后再绘画或贴花，再上釉入烘烤炉烤制。瓷器的装饰有划花、绣花（用针刺）、锥花、堆花、暗花、嵌花、粉彩、青花、镂雕等等，构成了色彩缤纷、式样繁多的瓷器艺术世界。

尽管瓷器色彩和式样众多，但总的说来以青瓷和白瓷为主。

青瓷是中国早期制瓷业的主流产品。古人尚玉，凡器物以玉器为贵。因此，在青瓷问世之后，即以其碧玉般的釉色，如玉般的质地，深受人们喜爱，风行于世。青瓷以越窑为代表。越州（今浙江绍兴一带）青瓷质地细腻，明澈如水，莹润似玉。唐宋诗人的诗句，“九州风露越窑开，夺得千峰翠色来”，“越欧荷叶空”，“越犀玉液发茶香”等，生动地描绘了越州青瓷品质之高尚。

白瓷，唐时以邢窑为代表，宋以后以景德镇为代表。邢州（今河北邢台一带）白瓷的胎和釉都很洁白，质地细润，似银类雪，和越州青瓷齐名。唐时四川大邑的白瓷也很精良，胎薄而坚致，色白声清。杜甫有诗赞道：“大邑烧瓷轻且坚，扣如哀玉锦城传。君家白碗胜霜雪，急送茅斋也可怜。”景德镇被誉为瓷都，宋元明清 4 代一直是瓷器的重要生产中心，除生产白瓷外，还生产许多其他的瓷器。此外，福建的德化窑以生产建白著名，特别是明代著名瓷艺家何朝宗塑造的象牙白佛象，至今被举世视为珍品。

（李劲松）

漆器漆器是中国古代一项独创性发明。漆器坚牢耐外表光泽美观，体质轻巧，是人们喜爱的日用品和工艺品。

漆器用漆制成，漆是原产于中国的漆科木本植物漆树的一种分泌物，其主要成分为漆醇。从漆树上取出的漆汁中含有水分，称为生漆。生漆在日光下边搅边晒脱水后，就成了深色粘稠状的流体，即熟漆。把漆液涂饰在各种器物表面之后，在它所含的漆酶或加热的作用下，漆汁中的漆醇发生化学作用，在器物表面形成薄膜——漆层。在漆液中加入颜料或染料，即形成彩色漆层，使漆器更为美观。

在制造漆器时，通常在漆里掺入桐油，成为油漆。桐油是从中国特产油桐种子中榨出来的，它是一种干性植物油，主要成分为桐油酸，干后也能成膜。桐油膜亮度比漆大，但抗老化性能不及漆，而漆产量比桐油小，成本亦高。把桐油渗入漆中，既可对漆起稀释作用，改善漆的性能，又可降低成本。这种把二者合用，使其取长补短的方法，是中国古代制漆技术的一大创造。

中国已经有 4000 多年的用漆历史。《韩非子·十过篇》中记载有：“尧禅天下，虞舜受之，作为食器，……流漆墨其上，……舜禅天下而传入禹。禹作为祭器，墨染其外，而朱画其内。”说明人们早就在漆中加进红色或黑色颜料，装饰食器或祭器。考古发现中，更可以看到早在新石器时代就已在陶器上涂漆，以装饰陶器。先秦时期，人们已经认识到油漆对于器物的防腐保护作用 and 装饰效果，在车辆、兵器把柄、日用几案和器具、乐器、棺槨以及建筑中大量应用。由于漆在阴湿环境中容易聚合成膜，干后又不容易出现裂纹，故秦汉时又设置了制作漆器的专用场所“阴室”。其后，作为一种传统工艺技术，漆器的制造历久不衰，并不断有所改进和创新。

漆器制造的分工非常精细，汉代著作《盐铁论》即记有“一杯卷用百人力，一屏风就万人之功”，《汉书·贡禹传》更记载有具体分工和管理。历史上，漆器的制造工艺大致分为：作胎、上漆、描绘油彩花纹、雕刻铭文、成器修整等。其胎质有木胎、皮胎、麻胎（即夹紵胎）等。为了增加漆器的艺术效果，历史上还发明了多种漆器装饰工艺。著名的有“扣器”，即在漆器上加饰金银铜箍；“金银平脱”，即把金银薄片雕成花纹，胶沾在漆胎上，上漆后再经打磨推光，现出闪闪发光的金银花纹，和漆面平托于器表，显得十分华贵；“剔红”，即把朱漆层涂在木胎或金属胎上，每上一道漆，就用刀剔出深浅花纹图案，使呈具有立体感的图象；“雕红”，技术工艺与“剔红”相同，但胎用贵金属制成。此外，在漆面上加饰蚌壳、玉石的螺钿工艺，在历史上也很盛行。

在夹紵胎的基础上，大约于两晋南北朝时期又发展出脱胎漆器。其制作过程为，先用木骨或泥模雕塑成底胎，再在外面粘贴几层麻布，形成布胎；在布胎上上漆（称髹漆），并加彩绘；阴干后除去底胎，即成中空的脱胎漆器。这是历史上漆器制造技术的又一大创新，至今脱胎漆器仍作为传统的工艺品享誉于世。

中国的漆器及其制造工艺，很早就传入周边国家，以至中亚、西亚等地。大约在 17 世纪或 18 世纪时，欧洲各国仿制中国漆器成功，并兴起了漆器业。可以说，漆器是中国对于世界的一大贡献，如同瓷器一样，世界各国的漆器也受惠于中国古代的发明。

（金秋鹏）



万里长城是世界建筑奇迹之一。万里长城已被视为中国古代文明的象征，闻名于世界。

长城已有 2000 多年的历史，它的修筑是从战国时期开始的。当时的秦、赵、魏、齐、燕、楚等诸侯国，为防御北方游牧民族南侵和自卫，都兴建了长城。秦兼并六国后，为防范北方匈奴的突袭，于公元前 213 年发起了修筑长城的巨大工程，把秦、燕、赵、魏的原有长城连接起来，并加以扩建。整个工程共征用民工 30 万人，连续花了 10 多年方告完成，建成了西起甘肃临（今岷县），沿着黄河到内蒙临河，北达阴山，南到山西雁门关，东抵辽东的长城，全长达 3000 多公里。由于长城工程极其艰巨，民工境况非常悲惨，故留下了孟姜女哭长城的传说故事。

汉代除重修秦长城外，又修筑了内蒙古河套南的朔方长城，以及凉州西段长城。凉州西段长城北起内蒙古居延海（今额济纳旗境内），沿额济河，经甘肃金塔，西到安西、敦煌、玉门关进入新疆。整座长城“五里一燧，十里一墩，卅里一堡，百里一城”，构成了一个严整的防御体系。

汉以后的北魏、北齐、隋、金等朝代都对长城进行过部分修建，到了明代则进行了全面的重修。明代所修的长城西起嘉峪关，东至鸭绿江边，全长约 6700 公里（一万三千多华里）。整个重修过程前后达 100 多年，可见工程的浩大和艰巨。其中，山西以东的长城采用内部夯土，外面用砖石砌筑的方式，山西以西的长城全用夯土筑成。整座长城上又建有很多关城，关城都建在地势险峻的要地，著名者有嘉峪关、居庸关、山海关等。其中嘉峪关是现存长城关城中最完整的一处。它始建于明洪武五年（1372 年），气势雄伟，布局周密，结构严谨，有“天下第一雄关”之称。相传，在修建这座雄关时，不但设计和建造技艺高超，而且连用料的计算也非常精确。在关城建成之后，仅剩下一块砖，这块砖被后人放在重关的小楼上，作为纪念。

现在人们所看到的长城，主要是明代重修的，以前的长城则只剩下一些遗迹了。

绵延万余里的长城穿越在崇山峻岭、急流、溪谷等险峻的地段之上，工程之艰巨是难以想象的，表现了中华民族的磅礴气概和聪明才智，也反映了中国古代测量、规划设计、建筑技术、工程管理以及军事技术的高超水平。

（金秋鹏）

## 隋唐长安城

长安（今西安市）是举世闻名的古都。历史上，长安以隋朝和唐朝最为繁华昌盛。现存的长安城是明代重建的，其规模还不到隋唐长安城的 1/7。在古代世界的著名城市中，巴格达的面积为 30.44 平方公里，罗马为 13.68 平方公里，拜占廷为 11.99 平方公里，而最大的城市则应属隋唐长安城，面积达 84.10 平方公里。

早在西周时，长安附近就建立了都城，秦汉两朝也都建都在长安附近。但是，隋唐的长安城却不是经由长期的历史发展形成的，也不是在秦汉的基础上发展起来的。它是在极短的时间内，按照统治者的意愿，经周密的规划、设计而兴建的一个全新的大型都市。

公元 581 年，北周的隋国公杨坚称帝，建立隋朝，仍沿用汉代的长安为国都。由于汉长安城的规模以及原有的宫室都比较狭小，城市布局也显得杂乱，官署与闾里杂混，既不敷使用，又不便管理，再加上水质已咸卤化不宜食用，因此杨坚称帝后的第二年，便令大臣高 、建筑学家宇文愷负责在旧城的东南另建新城。因杨坚在南北朝的北周政权中曾受封为大兴公，故新城命名大兴城。据《隋书·高祖纪》记载，大兴城于 582 年 6 月开始动工兴建，动用民工一二百万人，于当年 12 月便基本完成，次年 3 月就迁入使用，前后仅用了 9 个月的时间。

大兴城由宫城、皇城和郭城 3 部分组成。它的总体规划是在方整对称的原则下，沿南北中轴线，将宫城和皇城置于北部，并以纵横相交的宽敞大道，将郭城划分为整齐有序的 108 个里坊，形成一个区域明确而规整的城市布局。唐代著名诗人白居易，曾以“百千家似围棋局，十二街如种菜畦”的诗句，形象地描绘了其布局的特色。

在规划和建设中，还非常重视城市的环境和给排水问题。城址位于渭水南岸，西傍沣河，东依灞水、浐水，南对终南山，地理环境优美。根据地理会环境和河流情况，开凿了 3 条渠道引水入城，解决给排水问题，又可以进行生活物资的运输。水渠两岸种植柳树，形成“渠柳条条水面齐”的宜人景色。城南还开辟了“曲江园”游览区，“花卉周环，烟水明媚，都人游赏盛于中秋节。江侧菰蒲葱翠，柳荫四合，碧波红蕖，湛然可爱。”

唐代建立之后，大兴城改称长安城，仍为国都，并对该城进行扩建和修建。扩建部分主要是宫城，即在东北禁苑内的龙首原高地建造了大明宫。大明宫由 30 多所宫殿组成，居高临下，可俯瞰全城。其中的麟德殿规模最大，为明清时期北京故宫太和殿的 3 倍。中唐之后，大明宫取代了原有宫城的地位，成为皇帝听政和生活之所在。

隋唐长安城的布局特点，对中国后世的城市建设，以及日本、朝鲜的都市建设，都有一定的影响。令人惋惜的是，这一宏伟壮观的名城，在唐末的战乱中惨遭厄运，被大火焚毁。

（金秋鹏）

## 故宫

故宫坐落于北京城的中心，占地 1087 亩，合 72 万多平方米，是明、清两代的皇宫，也是世界上现存最大、最完整的古代木结构建筑群。它集中体现了中华民族的建筑传统和独特风格。

故宫始建于 1406 年，是明代永乐皇帝由南京迁都北京时所建的宫城。从总体布局上说，它可分为前后两部分，即所谓的外朝和内庭。外朝以太和、中和、保和三大殿为中心，文华殿、武英殿作为两翼，为行使朝政的主要场所。内庭由乾清宫、交泰殿、坤宁宫和东西六宫构成，为皇室的生活居住区。按四根柱为一间的传统进行计算，共有近万间之多，建筑面积约 15 万平方米。

宫殿群由紫禁城围护，城高 10 米，外又围以 52 米宽的护城河。整座城开有东西南北四座城门，南门为午门，北门为玄（神）武门，东门为东华门、西门为西华门。城的四角各建有一座角楼。每座角楼各有九梁、十八柱、七

十二脊，结构复杂，式样奇特，为古建筑中罕见的杰作。关于角楼的建造，还流传有鲁班用秫秸编成蝓蝓笼作模型示范的传说。

整个故宫的建筑布局严谨规则，主次有序，并用形体变化、高低起伏的手法，使空间丰富多变。

午门是故宫的正门，在城墙墩台上建有一组建筑。正中是宽九间的庑殿顶重檐大殿，两侧有联檐通脊的殿阁伸展而出，四隅各有一个高大的角亭。这一组建筑称五凤楼，巍峨壮丽、气势浑厚。

进午门，经过一个大庭院，再过金水桥，入太和门，即是外朝的三大殿。太和在前，中和居中，保和在后，依次建筑在一个呈工字形的高大基台上。

基台高 8.13 米，分 3 层，用汉白玉砌筑而成。每层当中都有石雕御路，边上都装饰有栏板、望柱和龙头。据统计，共有透雕栏板 1414 块，刻有云龙翔凤图案的望柱 1460 根，龙头 1138 个。这些石雕装饰，反映了中国传统建筑独特风格的装饰艺术。同时，在结构功能上又起着排水的作用。栏板下，以及望柱上伸出的龙头口中，都刻有小洞口。每当下雨，水由龙头流出，恰似千龙喷水，蔚为大观。

太和殿又称金銮殿，是皇帝发布政令和举行大典的场所。殿高 35.05 米，宽 63.96 米，深 37.20 米，是故宫最大的建筑，也是现存全国最大的木构建筑。它的结构集中体现了中国传统木构建筑的特点。即，先在柱础上立木柱，柱上架大梁，梁上立小矮柱（瓜柱），再架上一层较短的梁；自大梁而上可以通过小柱重叠几层梁，逐层加高，每层的梁逐层缩短，形成重檐；在最上层立脊瓜柱，在两组构架之间横搭檩枋；在檩上铺木椽，椽上铺木板（望板），板上苫灰背瓦；由于梁架逐层加高，小梁逐层缩短，从而形成斜坡式的屋面；屋檐出挑则采用斗拱承接，既可承重，又可增添装饰效果，是中国传统建筑的又一大特色。太和殿即采用这种结构，用 72 根大木柱支承梁架形成重檐庑殿式屋顶，上檐斗拱出跳单翘三重昂九踩，下檐为单翘重昂七踩。整座建筑庄严雄伟，富丽堂皇，起着显示皇权至尊的效果。

与外朝要求宏伟壮丽、庭院开阔明显不同，作为帝后生活居住区的内庭呈现庭院深邃的特征，东西六宫各自成一体，排列井然。又有后苑御花园，幽美恬静，可供游乐。

整个故宫的布局，以午门至神武门作中轴，呈对称性排列。中轴线向南延伸至天安门，向北延伸至景山，恰与北京古城的中轴线相重合。登上景山，眺望故宫，飞檐重叠，琉璃连片，壮丽辉煌，气象万千，堪称中国传统建筑之瑰宝。

（金秋鹏）

## 应县木塔

在山西雁北应县佛宫寺，有一座木塔，叫释迦塔，俗称应县木塔。这是中国现存的唯一的木塔，也是世界上现存最高的古代木构建筑。

塔原是佛教的产物，梵文称 stupa 译为窣堵波、浮图等名，是埋藏舍利 的建筑。它由台、复钵状塔身和刹（伞盖）三部分构成。大约在汉代，塔与佛教一起传入中国。这种建筑形式进入中国后，即与中国的传统建筑相融合，产生了一种具有独特风格和式样的建筑系列——中国楼阁式塔。其作用也大

为扩展，可以登高远眺，浏览远近风光，还可以作为军事瞭望、航海指南、城市标识、风景建筑之用。

现存中国楼阁式塔很多，大多为用砖、砖木、砖石、石建筑而成。著名的砖塔有唐代西安慈恩寺大雁塔、唐代西安兴教寺玄奘塔，宋代具有军事瞭望功能的河北正定开元寺瞭敌塔等；著名的砖木塔有宋代苏州虎丘塔、杭州六和塔等；著名的砖石塔有北魏河南登封嵩嶽寺塔等；著名的石塔有宋代福建泉州开元寺东西塔等。这些塔很多前身是木构塔，因火或腐朽而更换砖石材料重建，仍保留了木构塔的特征。

应县木塔建于辽道宗清宁二年（1056年），总高67.31米，平面呈八角形，底层直径30.27米，外观为5层6檐（最下层为重檐）。其体形高大，结构复杂，轮廓优美，为中国古代木构建筑之代表作。

全塔结构从下至上可分为三部分：

第一部分在最下边，为高4.4米的砖石基座，分为两层。其体形巨大坚实，起着承载全塔重量的作用。据近年的勘测，整座木塔的沉降率比较均匀，未发生倾斜或折沉，可见基础工程设计和施工质量之高超。

第二部分是塔身，为全木结构，高51.35米。柱网的布局方式为内外两圈，各层柱子叠接，但比下层外柱退入约半个柱径。各层柱子都向中心略有倾斜，尤以底层柱身的内倾为明显。这种内倾在建筑学上称“侧脚”，起着降低重心，增强稳定性的作用。每一层靠外的柱子又比靠内的柱子略高，使整体结构的重心向内倾斜，在建筑学上称“生起”，同样起着增强稳定性的作用。侧脚和生起，是中国传统建筑的经验性总结，得到广泛的应用。

整座木塔，集中使用了54种斗拱，显示了斗拱在楼阁建筑中的重要性和应用中的灵活性。在一个建筑上，使用如此多的斗拱类型，在建筑史上实属罕见。塔身有木梯可曲折而上。

第三部分是塔刹。它是一根10厘米见方的铁柱，长14·21米，下端固定在木梁上，中部砌砖，上部伸出塔顶。

明成祖朱棣于永乐四年（1406年）路过此塔时，曾题写了一块横匾，写着“峻极神工”4个大字。应县木塔确堪此称誉，它刚健而又显露柔美，结构奇绝合理，充分体现了中国古代匠工的卓越技艺。而且，900多年来，它经历无数次的雁北风雪，以及多次地震的考验，至今巍然屹立，为硕果仅存的木构高层建筑，这本身就是建筑史上的一大奇迹。

（金秋鹏）

## 赵州桥

“赵州石桥是鲁班爷修，玉石的栏杆圣人留，张果老骑驴桥上走，柴王爷推车轧了一道沟。”这是秧歌剧“小放牛”中的一段唱词。唱词中所道出的是关于赵州桥的一则美丽的神话传说。

赵州桥横跨在赵州（今河北赵县）城内的洨河之上。传说古时候，一到夏秋雨季，洨河水常常泛滥成灾，使渡船停开，交通中断。木匠的祖师爷鲁班得知后，便赶到洨河边，一夜之间建造了赵州桥。

桥一建成，八仙中的张果老和五代时后周的世宗皇帝柴荣柴王爷，一个倒骑着毛驴，一个推着独轮车，来到桥头，问鲁班说：“你的桥能经得住我

们同时过去么？”鲁班毫不犹豫地回答：“能”。哪知背着褡裢倒骑毛驴的张果老，褡裢里装着的是三山五岳，柴王爷推的车上载着的则是日月。因而他们一上桥，桥就猛烈摇晃，有坍塌之势。鲁班一见，急忙跃身桥下，把手撑住桥身，使桥稳住。为此，桥上便留下了鲁班的手印，张果老的驴蹄印和柴王爷的车道沟。你如有机会到赵州桥游览，还可以看到这些印迹呢！

当然，传说只是寄托着人们对于赵州桥的热爱，并不是历史的真实。事实上，赵州桥是在隋代时由巧匠李春主持建造的。这座桥于隋文帝开皇十五年（595年）开工，于隋炀帝大业元年（605年）竣工，命名“安济桥”，俗称赵州桥，又叫大石桥。它是一座单孔石拱桥，长50.82米，拱券净跨37.37米，桥面宽9米，桥脚处宽9.6米，是历史上最大跨径的洪桥，也是现存最早的大型石拱桥。

赵州桥之所以饮誉于世，不仅是由于桥的拱大和建造的时间早，而且还由于它在造桥工艺上的创新，是一座拱桥建造史上具有里程碑意义的建筑。

赵州桥的建筑在设计思想和工艺方面有如下的创新：

首创坦拱式结构。以前的拱桥，都建于河道狭窄的地方，采用的是半圆形拱。但赵州桥位于南北交通的要冲，北通涿郡（今北京），南通隋东都洛阳，又地势平坦，水面较宽，如采用半圆形拱，桥面要高出地面一二十米，形成陡坡，无法通行车辆，人马也难于行走。因此，李春大胆创新，采用圆弧形拱，成为坦拱式。其拱矢只有7.23米，和拱的跨度比大约是1：5，能够通车马。有诗称赞它：“坦平箭直千人过，驿使驰驱万国通。”

首创敞肩拱结构。洹河两岸地层是泥沙淤积层，承重能力差，为了减轻桥梁的自重，李春改变以往拱桥采用的实肩式，在桥两肩上各建二个小拱，形成敞肩式。这是世界上最早的敞肩式结构，至今在桥梁建筑中还广被采用。这一结构除减轻桥的自重外，还可以减少主拱桥的承重变形，提高承载力和稳定性，而且汛期还可起分泄洪水，保护桥梁的作用。

同时，桥台和桥脚的连接处、主拱上、拱石间，以及拱背上，采用了多种铁件联结加固，使桥梁各部分紧密联结构成一个整体，从而提高了桥梁的稳固性。

后人称颂赵州桥“奇巧固护，甲于天下”，真切地反映了它的设计思想和工艺之高超卓绝。

（金秋鹏）

## 泉州洛阳桥

洛阳桥位于福建泉州城东10公里的洛阳江入海口处，是泉州南来北往的交通要冲。这里，“西有滚滚万壑流波之倾注，东有滔灏（音hòng hào）澎湃潮汐之奔驰”，江面开阔，水深流急，风大浪高。在建桥之前，人们要通过此处，只能用渡船搭渡，时常发生翻覆沉没的事故。一遇大风大浪，渡船更不敢驶行，交通只好中断，有时一停便是好几天。为了祈求过渡平安，人们把渡口叫做“万安渡”。人们急切地盼望着能够造桥，以结束这种过渡既危险又不便的状况。但是船只过渡都不容易，造桥就更困难了，多次的造桥尝试都没有成功。

1053年5月12日，也就是北宋皇祐五年四月庚寅，一次新的造桥活动

又开始了。正当工程遇到重重困难的时候，北宋名臣蔡襄出任泉州太守，亲自主持建桥工程，并对建桥技术和工艺进行了多项创新。其创新方面最有意义的，有：

1. 首创筏形基础。针对江中水湍流急，水下是长年淤积的烂泥，桥梁基础不能采用传统打桩方法的情况，用船装载大石块，抛入预定桥址的水底，形成一条长约 500 余米，宽约 25 米的水下石堤，作为桥梁基础。这是桥梁技术史上的一项重大创新，开了现代桥梁筏形基础的先河。

2. 应用和发展尖劈形桥墩。把桥墩一端造成尖劈状（也称船形桥墩），以分开水势，减弱水流的冲击力，这一桥墩工艺在唐代已经采用。蔡襄应用并发展了这一工艺，把桥墩两端都砌成尖劈形，使之分开江流和潮汐的冲击力，以达到保护桥墩的目的。

3. 利用潮汐的涨落浮运和架设石梁。洛阳桥桥面的石梁，每条重达数十吨，悬空架设在桥墩之上，这在没有大型起重设备的古代，是难以想象的。但聪明卓绝的先民们却巧妙地解决了这一难题。他们预先加工好大石梁，放置于搭有高架的船上，利用涨潮水位高的时间，把石梁载运至桥墩之间，并应用牵引设备，把石梁固定在适当的位置，至落潮时石梁便自动架设在桥墩之上，完成桥面架设作业。

4. 利用繁殖牡蛎以固结桥墩。桥墩以长方形石块纵横相间砌筑而成，在没有速凝水泥固结的古代，仅是靠石块自身重量和桥面的压力维系在一起。这一松散的桥墩结构，在江流和潮汐的连续不断冲击下，很容易被冲垮。蔡襄利用牡蛎的生长特性，巧妙地解决了这一难题。牡蛎又名蚝，俗称海蛎子，是一种介壳海生动物，附着于海滩上的岩石表面而生长和繁殖，繁殖后其介壳会联结成堆、成片，非常坚固。在桥墩上繁殖牡蛎，使石块胶结成一体，大大提高了桥墩的坚固性和耐久性。这一发明，堪称为一项杰出的科学创举。

洛阳桥全部用花岗岩石块、石条构筑而成，建成于嘉祐四年十二月辛未（1060 年 1 月 16 日），现存桥长 834 米，桥墩 46 个，是中国第一座大型的石梁桥。因造于万安渡口，故定名万安桥，俗称洛阳桥。它的建成，使人们可以信步过江，易危为安，结束了“万安渡头行人悲”的景况。

在桥梁建造史上，洛阳桥是一座里程碑式的建筑。它促成了宋元时期福建，特别是泉州一带兴起的造桥热潮，先后建成大中型石梁桥数十座。其中，现晋江市安海镇的安平桥（俗称五里桥），长 2700 余米（811 丈），有 362 孔，有“天下无桥长此桥”之称。李约瑟在其巨著《中国科学技术史》中说，中国宋代在福建“造了一系列的巨大板桥梁”，这些桥在“过去（和现在）都是很长的”，“在中国其他地方或国外任何地方都找不到和它们能相比的”。这一评价是恰如其分的。

（金秋鹏）

## 颐和园

园林融汇了建筑美、艺术美和自然美，它是科技和艺术相互渗透、交融的结果。中国的园林建筑艺术有着悠久的历史，在世界园艺史中独树一帜，成就斐然。几千年来，在中国的大地上创建有成千上万的精美园林。颐和园就是现在保存较为完整的大型皇家园林，在中国的传统园林中具有一定的代

表性，在世界的园林建筑中也占有重要的地位。

颐和园坐落在北京西北郊，方圆 8 公里（十六里），占地 4350 亩，规模宏伟，景色秀丽。它的历史可以追溯到 800 多年前的金代，金章宗曾在此建金水院，是当时的西山八院之一。其山称金山，引玉泉诸水至山下为池，叫金水池。元时，据说有一老人在山上挖得一个刻有花纹的大石瓮，便改金山之名为瓮山。元世祖曾命郭守敬两次引玉泉诸水至山下，并把金水池疏浚扩展为大水库，先后易名叫瓮山泊和大泊湖，俗称西湖或西海子，挖湖之土运上山加高瓮山，从而成为山高水阔的风景胜地。明代又改瓮山为金山，改瓮山泊为金海，在山上建圆静寺，在湖畔建好山园行宫，总称好山园，俗称西湖景。1750 年，清乾隆皇帝在圆静寺基础上，修建大报恩寺，为他的母帝祝寿，并改金山为万寿山，又对金海进行疏浚，改名昆明湖，整个园林叫清漪园，工程历时 15 年建成。自此万寿山的清漪园，玉泉山的静明园，香山的静宜园，以及畅春园、圆明园，合称“三山五园”，而清漪园独具特色，有“何处燕山最畅情，无双风月属昆明”之誉。令人气愤的是，1860 年英法联军攻占北京，三山五园同遭厄运，被洗劫后又纵火焚毁，清漪园除个别建筑外均成灰烬。“玉泉呜咽昆明塞，唯有铜犀守荆棘；青芝阁（岫）里狐夜啼，绣漪桥下鱼空泣。”道出了劫后园林的凄凉景象。1886 年，慈禧挪用海军经费，历时 10 年，进行修建，并改名颐和园。

1900 年，颐和园又遭八国联军的掠夺和焚毁，1902 年，慈禧再次修复。现存的颐和园，既反映了中国古代园林技艺的高超造诣，也把列强的侵华罪行和清末统治者的腐败误国钉上了历史的耻辱柱。

颐和园继承了中国古代园林建筑的传统特点和造园手法，并有所发展。全园的布局，大体可分为东宫门和东山、前山、后山、昆明湖等几个部分。整个园林有如下几个突出的特点：

以水取胜水域面积占全园的 3/4，设计者依据水面开阔的特点，进行设计布置，主要建筑和风景点都面临昆明湖，或是俯览湖面。为避免开阔的湖面显得单调，用长堤把湖面划分为几个区域，还在湖中布置了凤凰墩、治镜阁、藻鉴堂等岛屿，以象征传说中的蓬莱、方丈、瀛洲等海上三神山，从而使水域既开阔又富有情趣。

湖山结合湖北岸的万寿山高 58 米，好像翠屏峙立。湖光山色，相映成趣。前山是全园的中心，正中为一组巨大的建筑群，自山顶的智慧海而下是佛香阁、德辉殿、排云殿、排云门、云辉玉宇坊以达湖面。其中，琉璃砖瓦的无梁殿（智慧海）和高 41 米的佛香阁，气势雄伟，为最具特色的建筑。这组中轴线的两旁，布置了许多陪衬的建筑物。抱山环湖一带建有长廊和石栏，把湖与山明显地区分又紧密地连接在一起。

对比鲜明前山建筑壮丽，金碧辉煌，后山建筑隐蔽，风景幽静；昆明湖浩荡壮阔，后湖（苏州河）怡静精巧；东宫门内建筑密集，西堤和堤西区景物疏落有致。强烈的反差，使游人产生不同的感受，从而更添情趣。

景随步转依据不同的地理特点，用楼、台、亭、阁、斋、堂、轩、馆、曲槛回廊以及假山花木等组合成各不相同的景点。各景点之间既有明显的区别，又有有机的联系，使人们漫步园内，景色随处变换，层出不穷。

借景手法设计者不仅考虑了园内景物的相互配合借用，而且充分地利用周围的景色，使西山的峰峦，西堤的烟柳，玉泉山的塔影等，恍如园中的景物。这种园内、园外均有景色的巧妙手法，给人一种园林范围更加扩大的感

受。

园中有园在万寿山东麓一处地势较低，聚水成池的地方，依照无锡惠山园，建造了谐趣园。它以水池为中心，配以堂、轩、亭榭、楼阁、游廊、小桥，自具独立的格局，成了园中之园。而且它清雅幽静，与东宫门内密集的宫殿建筑群成了鲜明的对比，给人焕然一新之感。

集景模写园中汇集了全国许多名胜景观，但又不是生硬仿造，而是别具神韵。如谐趣园仿自惠山园，西堤六桥仿自杭州西湖苏堤，涵虚堂、景明楼仿自黄鹤楼、岳阳楼，苏州街仿自苏州市街等，但又有很大的差异。

颐和园汇集了中国传统园林建筑艺术的精华。它“虽由人造，宛如天成”，是园林建筑的一大代表作。

（金秋鹏）



