

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

世界科技全景百卷书 (15)

钟表家族

 **eBOOK**  
网络资源 免费下载

## 钟表家族

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

世界科技全景百卷书 (15)

钟表家族

 **eBOOK**  
网络资源 免费下载

## 钟表溯源

### 仆表决漏 以正案法

齐景公（公元前 547 ~ 前 490 年在位）与燕国交战，连年失利。有人推荐司马穰苴，认为他文能团结大众，武能统帅全军，于是齐景公便任命他为将军。司马穰苴接受任命后，与监军、庄贾约定：明日中午到军营受命。庄贾走后他立即驰马到了军营，“立表下漏，待贾”。在地上竖起一根杆子，观看太阳的影子，把漏壶装上水开始起漏。到了第二天中午，影子到了正北方，漏壶也指示中午到了，庄贾却还没有来到。穰苴“仆表、决漏”宣布了庄贾的迟到。原来他在家与亲朋家属饮酒话别，长途相送，弄到夕阳西下才到。穰苴以军法为重，判斩庄贾，贾驰书齐景公求救，待景公赦免庄贾的命令来到时，庄贾早已被斩首示众了。

《史记》上记载的这一段故事是有关漏刻与圭表联用的实际记录。圭表能测定正午时刻，用它来校准漏壶，这在汉代肯定是广为应用的方法。1965 年在江苏仪征东汉墓里出土了小型的活动圭表，可见在汉代圭表和漏壶都是比较流行的。以圭表来校准漏壶就如今天收音机里的时号对表，古代看来是这样办的。

剩下的另一个问题——漏水不均怎么办？为了要使漏水均匀，必须使漏壶里水位保持不变，最初的办法是增加漏壶的个数。东汉著名科学家张衡（公元 78 ~ 139 年）写的《漏水转浑天仪注》中记道：“以铜为器，再叠差置，实以清水，下各开孔，以玉虬吐漏水入两壶。”这里指出是用两个壶联合使用。后来向多级发展，晋孙绰《漏刻铭》：“累筒三阶，积水成渊，乘虚赴下”，则已是三个壶的漏壶组了。唐代吕才的漏壶采用四级补偿，使最后泄水壶的水位尽量保持稳定，进一步提高了精确度。

多级补偿是用两个以上漏壶，自上而下放置，使最上一个壶中的水流入第二壶，再由第二壶流入第三壶……，由最后一壶（称泄水壶）流入箭壶，箭壶中的水连同浮舟慢慢升起。由于得到上面几级漏壶的补偿，最后一级壶中的水位可大体保持稳定不变，这就基本达到了漏水速度均匀的效果。

问题似乎都解决了，其实并未满意的解决，漏壶的数量不能无限地增加，水位也不是完全稳定，于是还有继续改进的必要。社会的需要促使人们去思考，用什么办法能使出水壶里的水位保持稳定而又简便可行？漏壶精确度的提高关键就在此举了！

据史籍记载，这一项改革完成了宋代景祐年间。1036 年司天监再次考定漏壶的精确度，人们提出：关键是漏水不均匀的问题，这可以采用 1030 年燕肃的一项发明，用加一个平水壶的办法来解决。所谓平水壶，就是使水位保持平衡的壶。说起来很简单：在一套漏壶的最下一级壶上再开一漏孔，但此孔开在壶上沿，只要从上面壶里漏下的水量比这一壶的漏量稍大，则总会有水从上孔中泄出，从而保持最下一级壶的水位总在上沿漏孔的地方，这就达到了目的。

平水壶的发明实际上就是上沿再开一孔的创造，这一孔之开可真解决了大问题，他使多少年来想解决的漏水不均匀问题宣告解决。

故宫交泰殿里保存有一座清代漏壶，乾隆九年（1744 年）制造，其中平水壶是一个重要部分。根据实验，一小时内流入受水壶的水量约为 3.5 千克，

一天 24 小时约 84 千克，一天的误差约为十分钟左右。只要正午时根据日影来校准一下，连续使用时每天的时刻读数都可以准确到几分钟的程度，这对古代的日常应用来说已是足够的了。

影响漏水不均匀的因素除此之外还有很多，当然都是较为次要的，但古人也已注意到了。例如温度的不同会影响水流速度。《周礼》一书中就提到“挈壶氏……以水火守之，分以日夜。”冬天要以火烧水，保持一定水温；宋代还有人提出以水银代水，以免冬天冻结；对漏壶用水也很注意，要选用无杂质的洁净泉水、井水等。此外，对漏壶的漏孔，历代也进行了很多研究改进。古代人民对漏壶的研究改进确是很深入细致的。

## 苦行僧的钟

在印度有个圣地叫“贝拿勒斯”，现在改名叫“瓦拉纳西”，是座著名的古城。古城内有成千个寺庙，最有名的是金寺。古城西北约 10 公里的地方叫鹿野苑，据说那是佛教创始人释迦牟尼第一次讲道的地方。自古以来每年都有成千上万的人到贝拿勒斯去朝圣。在古印度，有许多化斋的和尚常常不远千里徒步走向圣地，在漫长的征途上，苦行僧们多么需要知道几点钟啊！

聪明的苦行僧终于发明了一种随身携带的“影子钟”：他们用手杖上半截打一个孔，插上一支短木钉，在手杖上刻上刻度。苦行僧的手杖不是圆的，而是八角形的。看“钟”的时候，只要把手杖上的绳子一提，让手杖竖直向下，太阳光照到木钉上，木钉的影子投到手杖上，看看那影子有多长，就知道时间了。

苦行僧的手杖为什么是八角形的呢？这是为了适应不同季节而制作的八个面。一年四季中，太阳在天空中走过的路程是不同的，所以夏天的影子和冬天的影子也就大为不同了：夏天的影子短得多。

苦行僧的手杖做成了八个面，每一面只适用于半个季节。看！苦行僧把短木钉插进了这个孔里，孔上写着梵文“阿里曼”——相当于我们的九十月间。他又提起手杖，影子正好投到正午那个刻度上，说明这时恰恰是中午。

## 太阳闹钟

除了圭表和日晷之外，古代还出现一种“太阳闹钟”。这种闹钟的原理是这样的：在大炮引火线的上方安置一个凸透镜（常用的那种放大镜就是一种凸透镜），阳光经过透镜会聚到一点，那就是耀眼的焦点。太阳在天上移动，焦点在镜下移动。当太阳走到适当位置时，恰好是某个时刻，灼热的焦点恰好投射到导火线上，于是大炮轰鸣，向人们报告了时间。

太阳闹钟的发明者很高明，炮声一响，便向人们报了时。这说明，在时间的计量工作里，不但要有对时间的测定——测时，而且应当有播时报时。太阳闹钟就是一种巧妙的播时方法，打更也是古代的一种播时方法。

追溯太阳闹钟的发明，历史学家发现我国元代科学家郭守敬发明的仰仪是太阳闹钟的渊源。

郭守敬 49 岁时（公元 1279 年），担任了同知太史院事，这个官虽然不大，却可以见到元世祖。郭守敬把自己设计的仪表绘成图，献给元世祖忽必烈。这个图里包括“高表”，也包括“仰仪”。

这一天，元世祖召见郭守敬，要他讲解这些仪表的构造和功能。郭守敬一大早就进宫了，皇上拿着图问这问那。

“这仰仪为何物？”元世祖问。

“禀告陛下，观测天象必要观看太阳，日光耀眼，仰望太阳，难以看清，为此而制仰仪。”郭守敬接着详细地介绍了仰仪的构造原理。

仰仪是用铜制成的一种仪器，形状像一口仰天放着的铜锅。锅口刻有东南西北的方位，锅里刻有赤道坐标。在锅口面上用竿子架着一块板，板上凿有一个小孔，小孔的位置正好在半球面的中心。

“陛下，这小孔关系重大，阳光透过小孔，可在锅里形成太阳的倒像，这是墨子的发现，叫做‘小孔成像’。如此这般，我们只需低头俯视仰仪，便能清晰地看出太阳的位置。”郭守敬一边说一边打开了他的设计图。

“陛下，在发生日食的时刻，也可以用仰仪来观测，从中可知日食的时刻和位置……”

“好！好！”元世祖十分高兴，马上批准创制新仪器。

仰仪是一种太阳钟，也可以说是一种球面日晷。不过它是用小孔成像的像仰仪来报时的，那耀眼斑点的走动，便向人们报了时。

后来，仰仪传到了朝鲜和日本，他们制作了“仰釜日晷”，把仰仪上用来小孔成像的板取消了，改成晷针，就成了球面日晷。

至于欧洲古代的太阳闹钟，是否是受到仰仪的启迪之后发明的，那就很难考证了。

## 太阳的神话

圭表、日晷和太阳钟报告着时间，指出了季节。万物都照着这神秘的节气变化着。春季来临，便是“春风又绿江南岸”；冬季来到，则是“绝爱初冬万瓦霜”。

那么，太阳和太阳光下的影子为什么能指出时辰，指出季节呢？

在古代，我国各民族人民根据自己的认识和想象，编出了各自不同的太阳神话。“羲和主日”、“阳鸟载日”，便是黄河中下游一带的古代传说。

据说，羲和是一个负责观测天象、制定历法的天文官。又说，羲和驾着六条龙拉的车子，每天从东到西飞驰过天空。

在一本叫《山海经》的古书里，说东南海的外边，有个国家叫“羲和国”。羲和国里有个女人叫羲和，她是天帝的妻子。羲和一共生下了10个太阳，她总是在大海里为太阳洗澡。

古书里还说，在大海里有一棵叫“扶桑”的大树，树干有三百里那么高，9个太阳分别居住在下面的树枝上，1个太阳住在上面的树枝上。每天住在上面的那个太阳先飞出去，住在下面的一个太阳就来填补上边的空位。等到外面的太阳回来，另一个太阳再从扶桑上飞出去，第二个太阳又来填补空位……就这样，每天总有一个太阳东升西落。太阳怎么出来值班呢？古人说，用大鸟驮着。所以，古书上有时就管太阳叫“阳鸟”。

你说，太阳为什么会东升西落呢？真有只大鸟驮着吗？

古人又发现，夏天日长，冬天日短。为了解释这个现象，人们也编出了许多美丽的传说。云南省的澜沧县有个木戛乡，那里的老人常给孩子们讲这样一个民族神话故事：

“太阳神是很勤劳的，每天都要出来在天上从东到西走一遭，看看人间万物。冬天冷了，他就骑着快马跑。马儿聪明，专找近路走，跑得一天比一天快，到最快的时候从木夏东南边的那帕寨子背后就回去了。天热了，太阳就改骑猪。猪走得慢，而且笨，尽走远路，走得最慢的时候，是从木夏东北方向的克到寨子上来，到西南方向的哈胡寨子才回去。后来又换成骑马，太阳再从东南方的路迪寨子上来时，就是一年了。”

这个故事，用木夏乡东南、西南、东北、西北的四个寨子，形象地描述了太阳出没的情况和冬天日短，夏天日长等现象。然而，事实是古人想象的那样吗？

在古埃及，人们认为太阳神是独自驾着一条小船，在空中由东向西前进的，每天航行都有固定的航线。

在希腊神话中，太阳神的名字叫阿波罗，最古老的阿波罗形象是个端庄匀称、长发无须的少年，“望楼上的阿波罗”是著名的古代雕塑。今天，人们还用“阿波罗”来为宇宙飞船命名呢！

## 地球钟

如果我们坐上“阿波罗”宇宙飞船进入茫茫的太空，便会发现既没有扶桑树也没有骑猪的太阳，更没有英俊少年阿波罗。

看！那光芒四射的巨大无比的火球，就是太阳。有一个小小的蓝色星球在不停地绕着太阳转着大圈子——这就是我们的地球。像它那样的星球还有8个，远远看去就像9颗小皮球在大广场上围着一座大礼堂转圈子，这就是太阳系。

再看，那蓝色的地球不但绕着太阳转，而且自己也在自西向东转着，好像一个芭蕾舞演员在太阳公公周围跳着转圈舞，一边自己旋转，一边绕着太阳转大圈，这就是地球的自转和公转。

人类生活在地球上。由于地球的自转，我们从地面向外看，外边的太阳和星星就都由东方升起，西边落下了。这好像你在公园里坐转椅，转椅转一圈，你看到的都是公园里的孩子们转了一圈儿。

看太阳或者看星星定时间，用日影来定时间，实际上是按照地球的转动来确定时间。我们的地球妈妈从西向东转动一周，我们就看到太阳东升西落一次，日影也就有了一天的变化。“太阳钟”、“日影钟”实际上就是“地球钟”。

我们的地球不断地自转着，同时又绕着太阳公转。地球相对于太阳自转一周，就是从太阳当顶再到太阳当顶所经历的时间，也就是指太阳两次过子午线的时间，这就叫“视太阳日”。或者叫“真太阳日”。把这真太阳日等分为86400份，每份就是一秒，叫“真太阳秒”。这样得出的时间标准叫真太阳时，太阳钟反映的就是真太阳时。

如果地球只有自转没有公转，那么，太阳两次过子午线的时间，就是地球自转一周的时间。但是，地球在自转的同时，还要绕着太阳公转。在地球自转了一周以后，它不呆在原处了，应当在地球的椭圆轨道上前进1度左右。这样一来，第一次正对着太阳的那一点，在地球上自转了一周后，并没有再一次正对着太阳，那里的太阳并没有再一次当顶，而且还偏在子午线东边1度左右，必须要等地球再转过一个角度后才正对着太阳。地球自转过这个角

度的时间，大约需要 4 分钟。所以，地球自转一周并不是 24 小时，而是 23 小时 56 分钟。这样，一个真太阳日既反映了地球自转运动，又反映了地球的公转运动。

## 太阳的欺骗

地球绕太阳转动的轨道是一个椭圆。地球在这个轨道上的运动是不均匀的，离太阳远时，走得慢些；离太阳近时，走得快些，再加上地球上的赤道和这个公转轨道又不在一个平面上，所以一年中每天的长短就不一样了。最长的一天和最短的一天要差 51 秒呢。因此“真太阳秒”总是在变化着，这在时间计量上当然是很不方便的。

为了弥补真太阳时总是在变化的弱点，人们假定天上有一个点，在赤道上像太阳那样东升西落地移动，不过这个“假太阳”的移动速度是均匀的，它的速度等于真太阳的平均速度，天文学家把这个点叫做“平太阳”。

“平太阳”连续两次经过子午圈的时间间隔叫一个“平太阳日”。再把这个平太阳日等分以后得出“平太阳秒”，这种时间就叫“平太阳时”。

平太阳和真太阳经过子午圈的时刻是不一样的，最多能差 16 分钟，一年只有 4 天它们才一样：4 月 16 日，6 月 15 日，9 月 1 日和 12 月 24 日。所以，很早以前，巴黎的钟表匠就在他们的招牌上写过：“太阳所指示的时间是骗人的。”

的确，你试试看，你的表指着北京时间 12 点时，太阳并不当顶，你要是在西北或者在东北，太阳所指示的时间就会和北京时间差得更多。这是为什么呢？

不管是真太阳时还是平太阳时，都是按照太阳当顶两次的时间间隔计时的。这样，在同一瞬间，地球上经度不同的地方，时间就是不同的了。当伦敦是正午时，北京却已是下午 7 点 45 分。而当上海烈日当顶时，纽约已进入漫漫的深夜。不同地方的时间差，恰好是它们地理上的经度差。时间上的 24 小时相当于经度上的 360 度，1 小时相当于 15 度。

用各地的太阳时来计量时间当然是不方便的，在交通运输比较发达的时代，统一时间计量的要求更加强了。

1884 年，在华盛顿召开了一次国际经度会议，由 24 个国家商定了国际计算时间的标准，确定把地球经度为零度的英国格林威治时间，作为全世界的标准时间，简称“世界时”。

有了统一的世界时，各国之间的联系当然是方便多了。但是，如果各地都把钟表对准世界时就会使人很不习惯：当北京太阳当顶的时候，钟表却指着黎明前 4 点钟。为了解决这个问题，人们把全世界划为 24 个时区，每个时区占据经度 15 度，时区之间相差 1 小时。

以 0 度经线为中央经线，包括东经 7.5 度、西经 7.5 度的范围叫做零时区。在零时区以东，东经 7.5~22.5 度的地区叫做东 1 区，然后是东 2 区、东 3 区……直到东 12 区。在零区以西，西经 7.5~22.5 度的范围为西 1 区，依次是西 2 区、西 3 区……直到西 12 区。最后，东 12 区和西 12 区是重合的，以东西经 180 度为中央经线。这样一划分，各时区的中央经线彼此相差 15 度或 15 度的整数倍，各时区的时间就只差整小时数了。

北京位于东经 116 度 20 分，属于东 8 区。因此，“北京时间”并不是北



京的真太阳时或北京的地方时，而是东经 120 度经线上的地方平太阳时。

我们辽阔的祖国领土从东 5 区到东 9 区，横跨了 5 个时区。为了统一时间的需要，全国各地都采用“北京时间”。这样，北京时间正午 12 点，各地太阳的位置就各不相同，连北京的太阳也不正在当顶——“太阳指示的时间是骗人的！”

### 恒星帮助了孤帆

1984 年，报上登出了这样一条新闻：“美国一位 68 岁的名叫马文的退休教授，一人驾一艘普通小艇，在没有任何现代化的航海工具的情况下，成功地作了一次环球航行。马文在历时 17 个月的环球航行过程中，完全依靠观测天上的星位、海潮的涨落和风向的变化，来判断自己小艇所处的航位和前进的航向。”

孤帆探险并不是从马文开始的，早在 100 多年以前就有人进行了。很早以前，历史学家和人类学家就争论过，远古时代的人是否横渡过大洋？许多人认为这是不可能的，古埃及人乘草船能渡大西洋？古秘鲁人既无指南针又无天文航海钟，会渡太平洋？但是，另一些人认为是可能的，因为墨西哥的太阳金字塔酷似埃及金字塔，这不是古埃及人渡洋的证据吗？因为生活在太平洋岛屿上的波利尼西亚人有着古秘鲁的文明……

1867 年 6 月，一艘仿古的木筏从纽约出发了，它的名字叫“无敌”号，上边坐着三位探险家，他们决心驾帆驶向英国。出发前，许多欢送者到筏上参观，发现“无敌”号的航海装备确实很简单，甚至连航海中最起码的天文钟也没有。

三位探险家在北大西洋的惊涛骇浪中搏斗着，他们只能根据太阳高度的变化来确定自己的位置，修正航向。他们在夜间又只能通过观察星星确定时间和方向。经过 51 天的拼搏，他们终于在 7 月份到达了英国。

怎样看星星定时间呢？我国渔民中有一首民歌说：“六月晚上十点钟，牛郎三星照南窗；七月晚上八点钟，正南方向看牛郎。”可见看星星能确定时间。

恒星离地球很遥远，我们可以把它当成是不动的。地球自转一周，我们看到的恒星就绕了地球一周。这就是一个恒星日。它应当比平太阳时每大短 4 分钟左右。我们给每颗恒星都定下位置、编码、赤经、赤纬，就像每一个城市用经纬度来表示位置一样。当某一颗星走到某一个位置时，就可以知道是恒星时几点了。

恒星日要比平太阳日短 4 分多钟，这样，按照恒星时走动的钟表就会和按照平太阳时走动的钟表相差许多了。就像同是一块布，用市尺和米尺量出来的尺寸不同一样。

市尺和米尺可以换算。平太阳时和恒星时也可以换算。它们的换算关系是：

1 年=366.2422 恒星日=365.2422 平太阳日

1 平太阳日=1.002738 恒星日

1 恒星日=0.997270 平太阳日

天文台准确地观测恒星后，根据这些换算关系推算平太阳时，所以，格林威治天文台的天文照相机是很宝贵的。

根据这些测定、换算，形成了一个以地球自转确定出来的平太阳时系统，我们的钟表一般都是按照这个计时系统走动的。

## 地球闹脾气

长期以来，人们认为地球自转的速度是很稳定的，并且以它来确定时间。但是，近年来格林威治的天文学家却说，他们不知道现在到底是几点钟了。1979年格林威治天文学家欧蒙拉对报社宣布：“你不能说现在是几点钟，你只能说依照某一原子钟，或是某一天文学读数，告诉你现在是几点钟！”

事情是这样的：70年代以来，世界各地测时的天文台，都有了一种走得相当准确的石英钟。这种石英钟放在天文台特设的地下室里，一天一天地按照天文学家测定出来的秒长走动着。从来没有人对石英钟工作的准确性发生过什么怀疑。人们把石英钟当做忠实的守时卫士，要想知道几点钟，看看它就行了。

天文学家当然也要通过观测星相来与石英钟核对时间，而且不断地改进着观测手段。后来，精确的观测发现，石英钟在8月里忽然慢下来了，到了冬天又恢复正常，到了春天的三四月份，竟又快起来了。石英钟出了什么问题呢？奇怪的是，世界各地天文台的石英钟都不约而同地春快秋慢，起伏不定。难道各国的石英钟都走不准，发生了“传染病”？

于是，人们开始怀疑地球自转的速度了。

地球自转的速度是变化着的，人们从考古学家和历史学家那里找到了证据。

珊瑚化石是一个证据。珊瑚虫是一种腔肠动物，它每天都要分泌出一些粘液，这粘液就会变成一条细小的日纹，看看珊瑚化石身上的日纹就能知道过了几天。现代的珊瑚每年有360多条日纹——和一年365天相近。古生物学家发现，五六亿年前的珊瑚化石上每年都有400多条日纹，难道那时地球转得快，一年400天？

大家知道，月球绕着地球转，当它绕到太阳和地球之间时，会把影子投到地球上，这就会发生日食。由于地球公转和自转有一定的规律，月球的转动也有规律，天文学家便可以计算出古往今来的日食，例如，1997年3月9日8时至9时会发生日偏食，我国各地都可以看到。天文学家也推算出了几千年前发生日全食的时间和地点，谁知，竟和历史学家提供的日全食时间和地点有些不同。学者们经过分析研究，发现这是因为地球自转速度变慢造成的：每世纪的日长增加0.0016秒呢！

地球自转的速度还有着季节性的变化：每年三四月最慢，8月最快，反复地发着脾气。

1956年2月23日，太阳上出现了特大耀斑，地球自转突然变慢，日长增加了千分之九秒！地球在太阳面前还像个孩子，大人一瞪眼，就吓得不知所措了。1959年7月15日，太阳又发生耀斑，地球自转又变慢了一次——日长增加了万分之八秒。

千分之九秒和万分之八秒，对于我们日常的生活来说是微乎其微的，但在飞向宇宙和钻入原子的现代科学技术中，却是一个不可忽视的问题。1981年，美国“哥伦比亚”号航天飞机就因为电脑中有四万分之一秒的误差而停止了起飞。

看来，用地球当钟是不够的，我们需要一座稳定的钟。

## 立竿见影与圭表

寒暑的更叠伴随着正午太阳位置的高低变化。夏季，烈日当空，树木、房屋投下短小的阴影，人们要想找个阴凉的地方躲避火辣辣的太阳也很困难，而冰封雪盖的隆冬，行人拖着长长的淡影，似乎也显得缺乏生气。随着季节的变化，投影的长短也跟着变化，且年年如此，这就启发人们在思考，能不能在地上竖立一根标竿，看它中午时的影长变化来指示季节，这是不难做到的。旭日东升，逐步向上，影子便从西方转向西北。正午的影子，自然射向正北方，也比较短。夕阳西斜时，影儿便偏往东北了。就全年来说夏天的中午，太阳位置高，影子也短；冬天的太阳较低，中午的影子也较长。中午影子最短的那天是夏至，最长的那天即冬至，古代亦称“日北至”和“日南至”。这是非常直观的名称。如取上午与下午影子一样长的影端两点联接起来，那它的中点与标竿入地处的连线方向就是南北方向，它应同中午的竿影相合，这根标竿就称为“表”。大约至迟在殷商时期，人们已经懂得用表来测日影定季节了。最早的表是用木制的，或用竹竿，也有用石柱的，它们都是容易得到的材料，为了测量日影长度，周代使用一种专门尺子——土圭。“土”是度量的意思，“圭”是一条尖头的玉器，土圭就是量度日影的一把玉尺。

周初定都镐定（今陕西西安市附近），但还有个东都洛邑（今河南洛阳），是奴隶主统治中原地区的政治中心，相传周公姬旦曾在洛邑东南约一百里的阳城（今河南登封告成镇）树立起圭表测量冬至和夏至的日影，来定出一年的长度和季节。从此，观测冬至与夏至，成为一件重要的大事。《左传》上曾记录着一段历史事项：公元前654年冬至那天，刚好碰到十一月初一，朔日。鲁国的僖公带领群臣举行了仪式，宣布新月即将出现。之后，他还亲自登上观测台，去观看太阳照射在表上投下的影子。有关官员则记下情况存作资料。这是当时的规定礼节。

土圭长一尺五寸，它是怎样定下来的呢？表，又有多高呢？周代，人们的概念中还不懂得地球是个球体。他们认为阳城是大地的中心——地中。测定日影，那是个理想的地上点。容易想象到影长同表高是成正比例的。他们看到八尺的表，于中午日影最短的夏至日，影长一尺五寸。于是就立下了一个标准，表高八尺，圭长一尺五寸。八尺，与中等身材的人的眼睛差不多同样高。再则，那时已知，一直角三角形如短边是六尺，长边是八尺，其斜边刚好为十尺，都是整数。定为表高八尺，也许就是这个缘故吧。冬至日最低的太阳，一定使表旁拖着一条长长的影子。在阳城，那天中午的表影又是多少呢？据记载，汉代初年，都城长安的天文台——灵台上，八尺表身已改为铜制，圭身长一丈三尺。这就是配合冬至的日影测量而定的。

1965年，在江苏省仪征县发掘了一座汉古墓，墓主人大概对天文学有些兴趣。墓中陪葬虽不多，但其中有一件长方体的铜器却引起人们的注意，它上面的刻度表示长为1尺3寸（汉尺），活动的部分可以直立起来，高是8寸。因此许多人都认为这可能是一个小型的活动圭表，也许是洛阳灵台上八尺之表的缩小模型吧。

一年有多少天？粗看起来好像不是件难事，只要计算太阳在天上从冬至

点回到冬至点用多长时间就行了。可是大家都知道，当太阳从东方地平线还未升起的时候，它的光辉就已经淹没了所有的星星，哪里谈得上直接观测太阳在恒星间的位置呢？然而，我们聪明的祖先还是想出了其他的办法，来测量一年有多少天。早在春秋中期就已经知道这个时间是 265 天还多一个畸零数，约为四分之一天，这可能就是借助圭表测影的方法得到的。公元 85 年，东汉的编訢和李梵制订四分历，他们年复一年地仔细丈量着日影。他们发现第二年冬至日影其实不与上年的一样长。第三年和第四年仍然如此，要到第五年，冬至日影才同第一年的长度相等。算算日子，一年 365 日。这第五年却超过了一天。即四个年头共有 1461 日。这样，他们通过用圭表做实验，证明了以

前所得的数据，一年确是  $365\frac{1}{4}$  日。

编訢和李梵是相当幸运的，因为他们连续五年的冬至都遇上了晴天，这给测量日影的长度带来了很大的方便，发现第五年才同第一年一致。如果其中有一年碰上阴天那只有前功尽弃了。这种倒霉的事也许有不少天文学家都碰到过，但是又有什么办法呢？谁能避开老天爷变幻不定的脸色呢？肯定有许多人在想办法，历史上记载下来的最早的是祖冲之。

祖冲之测定了大明五年（461 年）冬至前后若干天的影长，根据古书记载冬至前的十月十日测得影长 1 丈 7 寸 7 分半，冬至后的十一月二十五日测得影长 1 丈 8 寸 1 分，二十六日 1 丈 7 寸 5 分强，祖冲之就根据这几个数据算出了冬至的日期和时刻。

祖冲之的方法被后代历法家所采用，他的方法有两大优点，第一是不受冬至日阴云不见太阳的影响，只要在冬至前后若干天测量日影就行了。第二是可以推算出冬至的近似时刻，这是因为冬至时刻不恰好是在正午，用圭表不能直接观测到。利用此法求得冬至时刻对于历法的推算有实际意义。

利用圭表，除了测定冬至和夏至，编订历法，推算二十四节气外，还有好几种用途。

一种是测定方向。除前面说过的简易测量外，如果画许多同心圆，树表于圆心，当上下午表影顶点落在同一圆周上时，将这些对应的点联接起来，它们的中点轨迹与圆心连线，便是南北方向。它必然应该同正午日影相重合。在夜里，当视线通过表顶凝望北极时，这方向亦即是南北方向。搭建房屋，修筑城市的道路，统治阶级营造宫殿宗庙或举行祭祀，等等，都需要确定南北方向。《诗经》上说“揆之以日，作于楚室”。就是用观测日影决定方向盖宫殿的记录。

再一种是丈量土地。周王室分封土地给诸侯，诸侯又将部分土地给予家臣。他们要划出疆域界线，量度长短阔狭，核定田亩大小等。丈量用的基本尺码，大致就是土圭。早在周秦时期，人们说，同一日子内，南北两地的日影长短倘使差一寸，它们的距离就相差一千里。虽然这数字并不准确，但人们已有了如何在大范围内测量土地的概念了。

为了提高圭表测影的精度，需要解决许多问题。表竖得笔直吗？地面是否歪斜？圭身恰好正南正北无误吗？表太高而使表顶影子有点模糊又怎么办？影子长度能不能量得非常准？自从有了圭表以来，直到汉以后的一千几百年中，不少人为这些问题绞尽脑汁想方设法来改进表影测量工作。

早在周代，人们就在表顶旁边挂一根悬锤，从而校正表身，使它位于铅

直线方向。六世纪初期，祖冲之的儿子祖暕在表下石圭面上开凿了沟槽，灌上水，用以校正它的水平状态。其作用就像现代的水准管一般，这项改进为后世的圭表所采用。祖暕又在平整得很好的场地上立下一根直挺挺的表竿。他用一套校正好的漏壶计量时间。待恰好中午时刻，于表影尽头再立一根表竿。到了夜晚，他通过这第二根表竿去望准北极方向，再在视线之北更立下第三根表竿。当三竿刚好位于一直线上时，这直线无疑即南北子午线了。

北宋的沈括，对这方面问题用三座铜表做得更加细致周到。他将圭表放在一间密闭的屋子里，暗黑的屋子使影子不会因四周日光的漫射而减淡。他又在圭面安设一座小小的附表，让附表的影端同表的影端重合，加深影端浓度，使之清晰。他还将矩形的表顶，削成向南的斜面，使平顶成一条线状，可以使影子尽头更清楚些。

日影又称晷影。对它的量度，早在西汉时期，已经能够做到量得的单位以“分”计算。一分等于2.34毫米。经过大约1000年之久，到11世纪中叶北宋皇祐年间，周琮等人树起新表，耐心地测了3年日影。在精细的工作中把日影长度单位取为半分，误差出入不超过1.17毫米，这是难能可贵的。

至13世纪后期的元代初叶，天文学有了新的发展。一直到这个时候，我国天文学家始终走在欧洲的前面。这时，郭守敬创造了相当于四层楼房高的四十尺高表，配着一百二十八尺长的石圭。对关系到测量精度的那些问题，郭守敬作出了划时代的改进。他将表顶改为用双龙高擎着的开有水槽取平的铜梁。石圭面上凿有环通的水沟。他设法使圭身处于子午线方向。他将表略向前倾，梁上挂下三条铅垂线，取锤尖联线为表影起点。他制作了能产生铜梁影子的针孔像的景符，梁影细如发丝。这些还不算，郭守敬又采取测定长度的技术措施，使影长尺寸能量到半厘，即0.12毫米。这同近代游标卡尺量到1/10毫米非常接近，真是何等令人惊叹啊！他取冬至前后相同的日子里的日影，成对地反复量取计算，所得冬至时刻，自然是极为准确的了。由此郭守敬和他以前的杨忠辅一样也算得了回归年的长度为365.2425日，这与现今通用的公历即格里历相同，但是比它却要早3个世纪。

郭守敬的高表虽已在历史的演变中消失了，然而今天还遗留着它的一座模式——登封告成镇上巍峨的观星台。它是郭守敬在1279年年底在古阳城旧址南侧建立的。近年来，有关部门曾测量过它那石圭的方位，发现它与正南北方向几乎完全一致。这是世界上又一处著名的古天文台完整的遗址。台旁还留有唐代开元年间南宮说所立八尺石表，夏至日日影不超出基座，是公元8世纪初期的遗物。1975年经国务院拨款修葺，现在已修整一新，是全国重点文物保护单位。

圭表由实际需要而逐步改进，由大自然的启发而产生，改进工作大体是从两个方面进行的，一是加高表身，使表影增长，减少相对误差；二是设法读准影长，使结果精确。总之目标就是提高精度。这两方面的努力到郭守敬可算达到了顶端，他既建造高表，又改进读数装置，发明了景符和窥儿，使观测精度得到了很大的提高，并又使圭表的用途增多，扩大到能观测月亮和星星。这一思想方法在现今的天文仪器制造中又一次得到了体现。建造高表相当于增大望远镜的口径，使得到更大的光量，放进读数装置相当于改进望远镜的接收设备，终端设备的改进可以在较小口径的望远镜下得到比较好的结果，还可以使望远镜的用途增多。古代改进圭表的历史过程同现今改革望远镜有着相似的思想方法，这是历史给我们的启示。

## 水钟博览

### 救命的“水贼”

最简单的水钟就是一个底儿上有小孔的壶，叫漏壶。水从这里流完，便报告了一段时间。

古埃及的漏坛，坛的内侧刻有代表时间的刻度。大约距今 3000 多年前，古埃及人就使用这种漏坛了。为了使水流得均匀，古埃及人特意把漏坛做成上大下小的钵型。

古希腊用一种叫“克来卜希德拉”的漏坛来计时。“克来卜希德拉”的意思叫“水贼”。水从漏坛里流光大约要经过 15 分钟的时间。那时的人说多少时间，就叫几个“水贼”。

古希腊的法庭审案子时有一项规定，就是不管是谁，在法庭上的发言时间，都是两个“水贼”，相当于现在的半小时。

有这样一段故事：一个叫马卡斯的老实人，被坏蛋诬告进行了暗杀，受到法庭的审讯。诬告人首先发言，编造了种种谎言，胡说马卡斯杀了人，要求法官判处马卡斯的死刑。诬告人的谎言只有一个人能够揭穿，这个人就是马卡斯的好友朱里亚斯。但是，诬告人发言完了，朱里亚斯还没有来到法庭。

“现在由被告马卡斯申诉！”法官板着面孔宣布以后，有人便把水灌满了漏坛——水贼。那水一滴滴地流了出来，表示着时间在流逝。老实的马卡斯诉说他没有杀过人，朱里亚斯当时在场，可以证明。但是，马卡斯四处张望，还是不见朱里亚斯来到，他急得头上冒出了汗珠。

一个“克来卜希德拉”过去了，法官又命令注水，而证人还没有来。

可怜的马卡斯重复着讲过的话，他两眼盯着那古老的“水贼”。滴、滴，答、答，他忽然发现，“水贼”里的水流慢了。马卡斯眼睛一亮，他故意加长了他的申诉，讲他的父亲、母亲、奶奶，一直扯到他奶奶的叔伯姐妹，而那“水贼”仍然没有流完！

狡猾的诬告人看出了破绽，突然叫道：“有人往水贼里扔石子啦，这犯人至少讲了四个克来卜希德拉了，早该判刑了！”马卡斯吓得面色苍白，无言对答。死神啊，你为什么来捉我这个无罪的人？上天啊，你为什么冤枉我这个老实人？

“慢——！”突然门口有人大声喊叫着冲了进来，听众忽然分开了，满头大汗的朱里亚斯冲了进来，诬告人吓得面色苍白，被拉了下去，原来是诬告人派人纠缠住了朱里亚斯，妄想用这种办法嫁祸给马卡斯。

是谁往“水贼”里扔了石子呢？书里没有说。然而，有一点是毫无疑问的：那就是调整流水口的大小，会改变水钟指示的时间。小石子的确是把水钟“拨”慢了。

### 有趣的小钟

说起古代外国的水钟，有趣的事情可真不少呢。

古代的巴比伦，是四大文明古国之一。巴比伦的水钟是一个又高又长的大圆筒，筒底有个小漏水口。每天清晨管钟人便往筒里灌满水，那水就开始慢慢漏出，水钟开始走动了。管钟人站在圆筒一旁，看到水一流光，就高喊

一声，向全城的人报时。他每天要喊6次，全城的人就听着他的喊叫进行各种活动：上工、下工、吃饭和午休、又上工……

埃及是四大文明古国之一。2000多年前的古埃及，有个理发匠的儿子叫提西比阿斯，他创造了一个奇妙的水钟。这座水钟的钟面是一个竖直的圆柱，上面标着刻度和数字。圆柱的左面有一个小孩的塑像，那孩子的眼睛里一滴一滴地流出“眼泪”（其实是漏出的水）。那常流不断的“眼泪”流到了下面的木桶里，这滴滴的“泪水”推动一个轮子转动。那个水轮又通过一些机构和圆柱右面一个长着翅膀的天使塑像连接。小天使拿着一根小棒当指针。小天使随着水的流动慢慢从柱底升向柱顶，那小棒也就不断地指示着时间。

1000多年前，巴格达国王哈龙·阿尔·瑞吉德送给法国国王亚斯查理曼一个水钟。这个水钟会发响报时，每个钟点有一定数目的铜球落到钟下边的铜盘里。钟上有12扇门，每小时有一扇门打开。正午12点，12扇门全都打开了，便有12个小骑士从12扇门里跑出来，做出报时的样子。报告完毕，随后把所有的门都关了起来。

有趣的是，本世纪80年代初，法国人在巴黎制成了一座巨大的水钟。这座水钟由左右两排几十个玻璃管和玻璃球组成，就像一串串的糖葫芦，不过，里边是空的，用荧光染成的水能在玻璃管和玻璃球里流动。大水钟高6米，采用了古希腊时代漏壶的原理。钟座下面安装一个水泵，它有规律地把水抽到顶部的蓄水池中。蓄水池有一个出水口，水以稳定的速度向下面的玻璃球中流动。人们可以从左排的12个大玻璃球中，看到有几个球充满了水，那就是几点钟。人们还可以从右边的30个小玻璃球中，看到有几个球充满了水，那就是多少分钟了。这座水钟用最新工艺造成，那荧光闪闪的流水体现着时间在流逝。此钟刚落成不久就有上百万人前去参观呢。

1983年，在德国柏林的“欧洲中心”大商场，出现了一座高13米的现代水钟，它的构造和巴黎大水钟类似。右侧的玻璃柱叫分钟柱，它由30个算盘珠形的扁圆体串成，翠绿色的水向里边滴着，每滴满一个珠子就是过了两分钟，全滴满了刚好1小时，这时它里边的水便突然下降、流光——同时，左侧的时钟柱里便有一个大圆球灌满了翠绿色的水。

每当正午或深夜零点时，水钟便显得格外宁静，所有的水柱和管道都变成空空的，没有颜色了，水钟告诉大家：一切重新开始！

## 莲花漏

宋代科学家燕肃研制成莲花漏以后，当局不采用，燕肃一方面继续申辩，一方面到处宣传，前后坚持了9年。这9年里，燕肃四处奔走，每到一个地方，就把莲花漏的制作方法刻在石头上，希望这个方法能传播出去。

燕肃的石本莲花漏图一直流传到了元代。前面我们介绍过的元代科学家郭守敬，在他十五六岁的时候就得到了一件石本莲花漏图，很可能是燕肃遗留下来的石刻。少年郭守敬仔细地研究莲花漏图，并且考虑了莲花漏的制作方法。

郭守敬在元朝政府任职以后，并没有停止对莲花漏的研制。一次，他和张文谦一起去大名出差，郭守敬就为当地制作了不少莲花漏。元太史院内灵台上有一个铜壶刻漏，也是郭守敬制作的莲花漏。这架莲花漏已经比宋代的更好用了。

在 1276 年前后，郭守敬又创制了一架自动报时的七宝灯漏，献给元朝政府。元朝政府在召集会议时，常把七宝灯漏陈设在大明殿上。七宝灯漏高一丈六尺，用水激动机件，自动运转。机件中有云珠和珠梁，梁的两端有龙头，可以用来调整水流的缓急。七宝灯漏里的 12 个抱着时辰牌子的木偶，轮流走出来报时，还有 4 个木头分别去撞钟、敲鼓、击钲、打铙，报告时刻。七宝灯漏后来被人们称做“大明殿灯漏”，是一种独立的机械性计时仪器。

郭守敬到了晚年，仍然勤勤恳恳研究漏壶。先后制造成了“柜香漏”、“屏风香漏”、“行漏”等等。公元 1298 年，68 岁的郭守敬制成了“灵台水运浑天漏”，这是一台巨大的水钟，比唐代一行和梁令瓚制作的浑天仪还要精巧。可惜，郭守敬制作的这些漏壶都散失了。

今天保存在中国历史博物馆的一套漏壶，是元代延祐三年（1316 年）制成的。这一年 86 岁的郭守敬恰恰离开了人间。这是一种三级漏壶，把第一、二、三个水壶分别放在高、中、低的架子上，使水从第一壶漏到第二壶，然后到第三壶——平水壶。平水壶除了底部有个漏孔以外，上面还有个排水口。如果流进去的水过多，就会从排水口漫出，这样就保持住了平水壶的水位不变，使水稳定地漏到受水壶里。受水壶里的水平稳均匀地上涨，浮箭便能比较准确地报时了。

宫里的刻漏由专人管理。管理人看了浮箭和刻度，到时就挂出时辰牌子，公布时辰。北京故宫里就有一间专放漏壶的房间。

## 水钟的姐妹

水钟的姐妹是奶钟和沙钟，它们的原理都是一样的。

古埃及在尼罗河的一个岛上，建了一座庙。庙里供着古埃及的主神俄塞里斯。在庙的中央放着 360 个底上有小孔的牛奶桶，每一个桶派一个僧人看管，一共有 360 个僧人。每天有一个僧人拿牛奶装满他的桶，牛奶流完，恰恰是 24 小时。于是，第二个僧人便去装第二个奶桶。依次下去，每个僧人都轮到，就过了一年。

古埃及的统治者叫“法老”，相当于中国古代的皇帝。法老为什么要“养活”这么多僧人去计量时间，又为什么要用这么多奶钟，至今谁也猜不出他的想法。

用牛奶来代替水是不经济的，用“皇粮”养活那么多吃闲饭的僧人，更是国家的负担。可是，水在冬天是会结冰的，怎么办呢？我国北宋时代的张思训想出了个好办法：用水银代替水钟里的水。水银不但不会结冰，而且比用水计时还要精确呢！

水银太贵。人们想到了细细的沙粒，用沙粒代替水，便做成了沙钟。

有一种在古代轮船上用的沙钟，它的样子像个两头粗中腰细的玻璃葫芦，上边灌满沙粒以后，细沙就从中腰的小孔慢慢地流到下边，当沙粒流完，就报告了一个时间。把沙钟倒过来，沙粒又从这一端向那一端流，第二个时间便开始了。古代海船上的水手常常凭沙钟来换班。

要使沙钟走得准，所用的沙粒就应当是粗细均匀的。古人说，沙钟用的沙应当用大理石颗粒在酒里熬 9 次，每次煮开以后就撇去浮沫，最后再用太阳晒。沙钟里所用的沙粒是否都有这番经历，现在是无法考证了。

我国元代时，有人发现水因为气温变化会发生热胀冷缩，漏壶计时便受



到影响，于是研制了沙漏。这种沙漏要比瓶子里流沙的沙钟复杂得多了——它用流沙推动齿轮组，使指针在时刻盘上指示时刻。

明朝初年有个叫詹希元的人，发明了一种叫“五轮沙漏”的沙钟。这种沙漏能够“击鼓自鸣”，就是说，到了一定的时刻，小鼓锤就自动敲一下鼓，向人们报告时间。“五轮沙漏”还用丁字盘和指针来指示时间，十分巧妙。后来，又有个叫周述学的人，改进了五轮沙漏，造出了六轮沙漏，不过，沙漏弄不好常发生阻塞，古人还是用水钟的多。

公元5世纪的时候，我国北魏有个道士叫李兰，李兰改进了漏壶，创制了“称漏”。前边讲过，刻漏中有个受水壶，壶里有个浮箭，时间用浮箭来显示。李兰想，用受水壶里水的重量来显示时间，也许会更精确吧？称漏的构造是一杆吊着的秤，受水壶挂在秤钩上，用受水壶的重量计时间。李兰规定，流水一升，重量增加一斤，时间就经过了一刻钟。称漏的秤杆上也可以直接刻上时间，称一称，就能知道时间了。当时的称漏是怎样的，已经找不到原物了。

### 漏箭与水银钟

有了机械钟表，刻漏就进了博物馆。然而，水钟的历史却启示着后人：用漏水可以计时，用浮体可以传递水位的变化。这两条原理，在现代工程技术里还有不少用处呢！

浮球开关是一种自动控制水位的装置，厕所水箱里就有这种开关。自来水管不断地向水箱里注水，那浮球就和古代的“漏箭”一样，随着水位上升，浮球就上升，这样便带着连杆移动，浮球升到规定位置时，连杆的另一头便使活塞堵住了水管，水就不流了。等到再冲水时，浮球又下落，活塞又打开……如此反复。你观察观察，那浮球和漏箭的动作一个样呢！

如果要让浮球开关带动一个电门（通常是一个继电器的触头），这样就能造出一种自动控制水位的“漏箭”了。高大的楼房，都安着屋顶水箱。水泵不断地向水箱里注水，水位慢慢上升，水箱里的浮球也就随着上升，当达到规定水位时，浮球便像古代的漏箭那样慢慢下降。当下降到指定水准时，浮球带动的连杆便触动了“停止按钮”，电动机就自动停车了。由于用户不断用水，水位下降，浮球带动连杆又触动了“启动按钮”，于是电动机又开动起来，水泵就自动上水了。用这种办法也可以实现农村水泵房的自动控制。

古老的水银钟启发了现代的工程师，他们设计出了水银式时间继电器。这种继电器是由一个玻璃泡来控制时间的。玻璃泡被隔墙隔成两个室，用一个连通的导管相连接，在导管一侧有一个细小的漏嘴。不工作时，玻璃泡如左下图那样，两个电极是相互断开的，电流在这里通不过去。现在，我们想断闸以后几分钟让电器自动接通，怎么办呢？把电闸向上一推，玻璃泡便翻了个身，这时，重重的水银就要往下流了，可是，漏嘴很细，不能一下流满，只好让水银慢慢地流，像张思训发明的水银钟一样。当水银漫过了两个电极时，由于水银是导电的，便把电路接通了。“水银钟”的快慢可以通过玻璃泡倾斜的角度来控制。

现代工程师的这些创造启示我们，学习科技史，开阔眼界，对于创造发明新技术是有帮助的。

## 燃废的钟

在电影《李时珍》里，李时珍给一个病儿吃了药，说“点上三炷香以后”，就可以看出变化。等三炷香点完，果然病儿的病情就好转了。

李时珍是我国明代的医学家，那时我国仍然常用烧香来计量时间，一炷香就是一个时间单位。燃烧的香便是钟，是古老的火钟。

找一支香，用尺子量好它的长度，点燃5分钟后，再量一下它的长度；再过5分钟后，又量一下它的长度。这样，就可以知道，在燃烧条件稳定的情况下，燃烧的速度基本上没有什么变化。

让我们自己做个火钟吧：根据实验所得到的燃烧速度，比如，每5分钟燃烧掉1厘米，可以在同样的香上每隔1厘米刻上一个刻度。以后只要看看香燃掉的长度，就可以知道已经过去了多少时间。

自制火钟的游戏告诉我们，燃烧着的香和流逝的水一样，可以计量时间。就是现代，人们有时还用“一袋烟的工夫”来估量时间。

时间和运动是分不开的。要想比较准确计量时间，需要一个稳定的运动过程。燃速一分的香，稳定燃烧的蜡烛，均匀燃烧的油灯，都曾经被古人用来作为报时的钟。

一盏油灯也可以是一座钟。给油灯注满一定量的油，等灯油燃完了，便报告了时间。古代的矿井里，曾经用油灯当作换班的标志，那油灯是个大陶器，一盏油灯大约要燃10个小时呢。

1968年在河北省满城西汉古墓中发现了一盏铜灯——长信宫铜灯。这盏灯造型十分别致，高48厘米，形状是宫女双手执灯的样子。这盏灯是烧膏油的，由于有了灯罩，燃烧起来就比较稳定。灯上刻着文字，说这灯是公元前172年铸造的，它最初的主人是西汉的一位侯爷。这位侯爷夜间灯下读书时，是否要用注油的次数来计量时间，我们不得而知。不过，古人用这种方法计算时间长短，是屡见不鲜的。

我国古代还有过一种“火闹钟”：把香放在一个小船形的槽里，在香的某一点，用细线系上两个铜铃，横挂在船形槽上。香从一头点起，烧到系线的地方就把线烧断，两个小铜铃就落在下面的金属盘里，人们听到响声，就知道预定的时刻到了。

## 水时钟的发明

水时钟是古代埃及人创造的一种计时装置。它出现于公元前1400年，至今开罗博物馆还珍藏有水时钟的实物。我国古代叫做漏壶或称刻漏的东西，也就是水时钟。

由于水时钟计时不准确，当时人们都是把它和日光时钟配合使用的。到亚历山大王朝时代，人们又对水时钟进行了改进。其方法是用一个浮子来测知水面随时间的变化，并通过滑车把时间表示出来。这种改进后的水时钟的构造是相当巧妙的。

对水时钟改进的关键部分是水流稳定装置。因为水时钟是否准确，关键在于流入贮水槽的水流速度是否保持稳定。为此，阿拉伯人进行了这样的改进：先使流进来的水进入一个小的中间水槽，这个中间水槽里有一个小型浮子，如果水进得多了，小浮子就上升，使中间水槽的入口关闭；中间水槽里

的水流出去时，小浮子随之下降，进水口又打开了。

这种控制水量的办法，实际上已经应用了现代自动控制技术最重要的“反馈控制”原理。这就是说，早在亚历山大王朝时代，阿拉伯人就已在水时钟上发明了自动控制的方法，尽管还很原始，但其设计思想确实是高超的。

水时钟的时代一直继续到公元 1500 年前后，这期间人们还发明了落砂时钟、摆时钟、线香时钟等各式各样的计时工具。但相比之下，最突出的还是亚历山大时代的水时钟。它容易调节，而且是最准确的。

## 钟表盛会

### 机械钟

发明机械钟的困难在于怎样才能使一个比房屋还小的轮子与地球同步转动并连续运行。如果能做到这一点，这个轮子就成了一个微型地球，并且可以告诉人们时间。如今，时间与地球旋转的快慢已无关系。

这种机械技术的实现，是人类社会的最大进步之一。今天，钟表已无所不在。机械钟发明于公元 8 世纪的中国，但是直到公元 1271 年，罗伯特斯·安格列卡斯才在他的书中告诉我们，在欧洲，“工匠们正在试图制造一个能与地球公转一致的轮子，但是他们失败了。如果此项创造得以成功，它将是一架相当精确的钟表，其计时精度比任何星盘或其他天文仪器都要高”。

欧洲于公元 1310 年在借鉴我国机械钟的基础上，才解决了这个问题。我国机械钟是由商人带到欧洲的，同一世纪传入欧洲的还有黑火药、拱桥建造技术、铸铁和印刷术等项发明。

我国古代的皇帝认为其是天神下凡，他的一举一动都要与占星术相符。皇位的继承人不一定就是皇帝的长子，在我国历史上，由第四子或其他后裔继承皇位的史实屡见不鲜。那么，皇储究竟是怎样选择的呢？皇储的选择过程包括对候选人受孕时辰的星位占卜（占星学认为，人的生辰应以受孕时间计算，而不是生日）。为在可能受孕的时候安排皇后和贵妃与皇帝同房，皇帝的内侍必须准确地推测出合适的时间以安排皇帝的房事。从公元前 2 世纪的《周礼》中，可一窥有关皇帝性生活的惊人内幕：

“名份低的女子宜先，名份高的女子宜后。贵人 81 人按九人为一组，九个晚上，在同一寝宫。嫔妃 27 人，分为九人一组，三个晚上。妃子九人和贵妃三人各为一组，各一个晚上。皇后单独一人一个晚上。在每个月的第 15 天，这个顺序就完成了。此后，重复这种做法，但顺序倒过来了。”

皇帝身为天子，充满着强盛的阳气，阳气乃男子之元气。但皇帝的阳气尚需阴力与之匹配，阴力乃是女子之元气，以求阴阳平衡。满月之夜，阴力最盛，此夜需皇后与皇帝同房，以其阴力服侍皇上，此夜是受孕的最佳时间。余下的嫔妃，分组陪皇帝度过月缺之夜，以便集中她们各自的阴力来补充月缺之阴力不足。由此看来，皇帝一生的大部分夜晚，都是由九个嫔妃陪伴度过的。

假如一个王子被选做皇储，占星者们就需追溯到他受孕的精确时间，绘制星图，据此推测每个彗星、新星及其他天文现象。如果天象形状表明，该王子是一个强健的统治者，一个勇士等等，那么他将赢得皇位。因而，如果长子是处在灾星或死亡之星的星象影响之下出生的，他很早就会被排斥在皇位继承人之外。

现在，让我们了解一下当时发明机械钟的背景。看一看皇位继承规则实施得如何？从公元 9 世纪的白行简的《天地阴阳交欢大乐赋》一诗中可感受到诗人对皇帝荒淫生活的感叹：

“每夜九个嫔妃，皇后则满月时两夜。这是自古以来的法典，是女史以朱笔记下的这一切情况……但现今两宫 3000 女子争宠，一片混乱。”

显然，皇位继承人的选择并非都很合适，无能的王子也可能中选，那是因为对他的受孕时辰没有精确的记载。为此，必须发明计时钟。公元 725 年，

计时钟诞生了。

我国虽然发明了第一架机械钟，但其他形式的钟表却并非我国发明。自巴比伦时代起，漏壶就已产生。古代先人间接地从中东居民那里得到了这种最早的计时器及最早的天文仪。并且改进了很多种漏壶，其中包括一种用水银代替水的便携式“停表”，它具有相当的时间精度。我国漏壶采用天平或称而不是在壶里插浮竿——“箭”的方法来表示时间刻度。这些方法是对外国发明的钟表的改进。表盘是由希腊人和罗马人发明的，公元前1世纪建筑学家维特拉维斯曾介绍过这个发明。

世界上第一架机械钟是由唐朝高僧、数学家一行设计制造的。这架钟实际上是一架附有报警装置的天文仪器，而不是一架简单的机械钟表。据《旧唐书·天文志》记载：

“（浑天仪）按圆天的形象制作，上面按顺序示出28宿、赤道及周天度数。水流入穴中而使轮子自动旋转。一日一夜，使之转动完整一圈。此外，在浑天仪外边，装有两个轮圈，上栓日月，使其按环形轨道运行。每天，当浑天仪向西转一圈，太阳就向东行一度，月亮则向东行十三度十九分之七。转29圈之后则日月相会。当浑天仪转365圈时，太阳就转完整的一圈。他们做一个木柜，以其表面作为地平，因为该仪器有一半处于地平之下。它能准确地测定黎明、黄昏、满月和新月，迟延还是加快。再则，在地平面上立有两个木人，其前面分别置一钟一鼓，钟自动敲响以示小时，鼓自动击打以示已过一刻钟。

“所有这些运动都由柜中的机器进行，各项运动决定于轮、轴、钩、连锁杆、制动装置和锁合装置，互相抑制（即擒纵机构）。”

因为这架仪器还能显示黄道，所以当时人们对它的精巧设计给予了很高的评价。当公元725年这架仪器制造完成时，它被称为“水运浑天”，置于武成殿前以供百官参观。公元730年的会试曾出过论述新天文钟的命题。该文继续写道：

“不久后，铜铁制作的这种机构开始生锈，不能自动旋转。于是放置在集贤院，不再使用了。”

从以上叙述可以认为，第一架机械钟是水钟向完全脱离水力的欧洲纯机械钟的过渡。但这也并不意味着一行的钟是一架漏壶（水钟）。它只能说明第一个用于钟表的擒纵轮不是靠重力落体或弹体，而是由水力驱动的。这与漏壶中的浮标随壶中的水（或水银）面一起升降是不一样的。在机械钟的发展过程中，我国古代人民以水为动力是不无道理的。因为在此之前所有的钟都是靠水力推动的水钟，因此很自然地把水作为动力了。永不停息的水流被看成是天体的永动，正如苏颂在公元1092年叙述自己的改良钟时所述：

“驱动机构采用水力的原理总是相同的。天体运行不息，水流也是如此。因此，如果使水以极高的均匀速度倾注，那么天体和机器旋转运动相比就不会有什么差异和矛盾；因为不息跟随不停。”

一行钟的工作是靠一个以轮代桨的直枢轮带动的，在枢轮边缘的轮辐上安装有水斗。因为这些水斗靠漏壶流水将其注满，因此说，一行钟是以漏壶为动力的机械钟。当其中的一个水斗被注满后，它本身的重量足以使枢轮克服擒纵轮的限制，转动一个刻度，各种按序排列的齿轮将把上述的运动传递给时间指针，以此循环往复。正如古书所述，时钟的零部件还有轴、钩、销子、连锁杆等。我们将从下面对苏颂钟的全面描述中看到这些东西的组合。

一行的钟是一个简单的计时装置，运行并不稳定，与其说是一部上乘的机械，不如说它标志着一种伟大思想的实现。正是因为一行钟为未来的钟表发展提供了极其广阔的前景，才使人们对一行同时代的机械产生了兴趣。一行钟的前景在以后的几个世纪中得到证实。一行在发明一行钟两年以后就去逝了，他未能在有生之年制造出第二代一行钟。

如同水钟一样，一行钟易受天气变化的影响，冬季时需在钟旁生火温水，以防冻结。而水银钟则不需要这样做，因为水银在地球上的任何气候下都不会冻结。因此，此后出现在中国的大钟用水银代替水，以此解决了冰冻问题。宋朝张思训于公元 976 年制造了一座大钟，此钟做工精巧，以水银为动，是继一行钟之后对钟表的又一次重大改进。尽管一行钟已在公元 906 年佚失了。

张思训的大钟要比一行钟大得多，也远为复杂。据《宋史·天文志第一》记载：

“一个三层的塔式结构，每层三米多高，所有的机器皆藏于内。顶部圆形，象征着天；底部方形，象征着地。下面设置有低轮、低轴和框架基础。还有横轮、固定于旁路的竖轮，以及侧轮；将它们固定于适当位置的轴承；一个中央制动装置和一个小的制动装置（即擒纵机构）装有一个主传动轴。有七个假人，左边摇铃，右边打钟，中间的一个敲鼓，清楚地指出已过去的时刻。每昼夜（即 24 小时），机器整整转动一圈，那七个假人围绕黄道移动其位置。还有 12 个木人每两小时一个接一个地出来一次，拿着执辰牌，指明时刻。昼夜的长短由明暗中逝去的多少刻钟的各种数字来确定。在机器的上部，有天顶件、上齿轮、上制动装置（擒纵机构），上抗反冲销，天梯形齿轮传动箱（也许是历史上第一个链式传动装置，要不然就是不久后苏颂为他的钟而发明的），框架的上梁，以及上连接杆。浑大仪上分布着 365 度，以示太阳的运动、月亮和五个行星的活动；以及紫微宫（北级区）、28 宿和大熊星座；赤道和黄道表示寒暑进退取决于太阳的运动，钟的动力是水，这种方法是由汉代张衡经一行流传下来的……但是，由于冬天时水部分地冻结，其流动大大地减缓了，所以机器失去了准确度，寒暑无准。因此，用水银作为代用品，就不再有差错了。”

上述所有的努力为中世纪我国制造出最大的一座钟作了充分准备，此钟即是苏颂于公元 1092 年制造的“水运仪象台”。有关苏颂钟的基本细节目前已广为人知，因为苏颂所著《新仪象法要》被完整地保存下来，该书介绍了设计、建造大钟的全部细节。最近人们发现该书中的某些插图用公元 976 年张思训钟以及那里在苏颂钟之前的钟非常相似。今天，在英国伦敦科学博物馆还可看到一个仍在运转工作的苏颂钟的现代仿制品。当然，这些仿制品都是根据苏颂《新仪象法要》描述的插图建造的。

苏颂钟实际上是一座有 10 余米高的天文钟台，类似于张思训钟。但苏颂钟的台顶有一个靠动力驱动的巨大的铜制天文仪——浑仪，它是被用做观测星球位置的。台内的浑象同台顶的浑仪运动一致，二者能不断地互相比对，使浑象上球面星座位置和浑仪所观测的天象相吻合。据说，设在台内示范天体的浑象与台上的浑仪就“像两个半球吻合成一个球体一样”。

在台前部，是五层的木阁，每层木阁都有门，门中有木人按时轮流出来敲锣打鼓摇铃报时。报时装置与浑象、浑仪的转动同由一个巨大的时钟机器来驱动。

这个巨大的时钟机器通常由一个巨大的带有幅条的直立水轮组成，每根幅条的端部都装有水斗，漏壶水直入水斗，当水斗注满水后，水轮转动一个刻度。在水轮上装有一个卡子，它阻止轮子逆行。就轮子向前转动而言，每转动一个斗，就等于一刻钟。

事实上，苏颂钟在当时的京都开封从公元 1092 年开始使用直到公元 1126 年北宋朝灭亡。此后，它被运到北京重新组装并重新运行了很多年。苏颂钟经历了不同时代的变迁，出于政治上的原因，苏颂的政敌曾经要毁掉这架大钟。此事我们可从公元 1140 年米弁所著的《曲海旧闻》中得知：

“到绍圣初年（公元 1094 年），大臣蔡汴认为，苏颂的浑仪钟应该毁掉，因为它属于元祐年间（仅两年以前）之物。当时晁美叔是秘书少监，因为他非常钦佩苏颂的仪器的精确度和美观的结构，所以极力反对蔡汴的观点，起初他的努力是成功的。他求助于林子中，子中与宰相章惇商谈，因而免于销毁。但在蔡京兄弟掌握政权以后，没有人敢于反对销毁苏颂的机器。多么可惜！”

个人间的恩怨和政治派别的不同能够将人类历史上最伟大的机器发明毁于一旦。经过几代学者的努力，苏颂的著作连同书中的插图、注解才得以被完整地保存下来。

苏颂钟可能是人类在中世纪的最卓越的机械创造，其原理传入欧洲后，导致了两个世纪后机械钟在西方的发展。

## 能演戏的钟

苏州博物馆曾经展出过我国古代艺人制作的一架打点摆钟，叫“铜人敲钟水法音乐钟”。这座钟到了指定的时刻，钟内会突然奏起悦耳动听的音乐。在音乐声中，小铜人手里拿着榔头，掀开帘子走到正中间，自动敲钟报时。这时候，钟盘上部好像从高山顶泻下了瀑布，也好似下起了倾盆大雨。盘下有条小河，流水潺潺，一只只小船扬帆而过，演了一出美丽的报时剧。这座会演出的钟，诞生在明末清初，距今大约 300 多年。那时没有机床，单凭手工制作，的确是很不容易的。

我国的钟表艺人还制造过一架楼阁式的“群仙祝寿问乐钟”：小楼阁共分两层，上层有 3 个小人，下层有八仙。到了一定的时刻，上层楼门自动打开，小人出来报时并奏乐，下层八仙转动，看上去好像在祝寿，也像在演一台木偶戏。

300 多年前，有个奥地利人叫奥古斯丁·迈耶尔堡。他在公元 1661 ~ 1662 年间住在古老的莫斯科，后来写了一本游记，介绍了当时克里姆林宫的斯巴士克塔钟。

斯巴士克塔钟是莫斯科的“大汤姆”，向全城人报时。但是，它报时的方法十分奇特：钟面转动，指针一直不动，钟面上的哪个数字对着正上方的指针，就是几点钟。看！它的指针像个光芒四射的小太阳，固定在墙壁上，正在钟面的上方。

可奇怪的是，钟面上的数字是从 1 到 17 的，迈耶尔堡的游记里是这样介绍的：

“它从日出到日落指示白天的钟点。……俄罗斯人把一昼夜分成 24 小时，但是却按照太阳‘在场’或‘不在场’来计算时间。这样，从日出的时

候算起，接着打一点钟，之后继续打到日落。以后又从夜晚第一点钟开始计时，一直到天亮……最长的白天，时钟可鸣报到 17 点，而那时的黑夜，只有七个钟点。”

你看，300 多年前俄国人计算时间有多么麻烦。当然，和法国的亨利一样，在斯巴士克钟塔里也住着看钟人。每天晚上，斯巴士克钟塔打钟了，整个城市也跟着打起钟来：“每一条街上都配备一个更夫。每天晚上，他们听钟声得知时间，钟打几下，他们就敲泄水槽或板子几下，使人们在听不到钟声的夜晚也不会失去警觉。这简直是全城的更夫在演戏。

住在钟塔里的看钟人有时喝醉了，斯巴士克钟就会乱打点，于是，全城就乱了：店铺里的伙计会提前关门，衙门里的录事也借机溜回家。

到 18 世纪时，彼得大帝命令在克里姆林宫上安装从荷兰订购来的大钟，斯巴士克塔钟从此退出了历史舞台。

## 城市大钟

早期的机械钟都是又高又大，往往要为其建个钟楼。英国伦敦议会大厦钟楼上的大钟，取名“大本”，它是在公元 1859 年第一次发出钟声的。大本重 12 吨，直径为 2.7 米，高 2.3 米。这座钟是本杰明·霍尔当工程局局长时建造的。本杰明身材高大魁梧，人们亲昵地叫他“大本”，后来，干脆用“大本”来称呼这座大钟了。这座钟走时准确，也不像大汤姆那样闹出笑话。在 1913 年以前都是用手工上发条来推动“大本”走动的，后来改用了电动机。

我国北京，早在明清时代便通过钟鼓楼打鼓敲钟向全市报时了，那时是用漏壶计时。北京鼓楼里设有铜刻漏，据说，在清乾隆年间就不用刻漏了，而改用“时辰香”（火钟）了，香一烧完便打更。后来，在西交民巷口的楼顶上由外国人建了机械钟，至今还走着，不过这座楼已是中国银行的了。民国初年，北京一度改为每天中午 12 点放炮一声叫“午炮”。午炮一响，老百姓全都对表。40 年代初，北京当局在前门、王府井、东单、东四、西四等主要繁华路口分别建立了所谓标准钟。这些钟的表盘是圆形的，两面都有指针和字盘，外壳与底座都是铁做的，用地脚螺丝固定在各路口便道的拐角处。这些钟不会自鸣，要有人定时来为发条上弦。解放前，由于管理不善，标准钟各走各的，东单的钟是 10 点，王府井的也许就是 11 点，西四的因为忘了上弦指的却是 5 点。

解放以后，在北京火车站、西单北京电报大楼的建筑物上安装了巨大的钟表，后来又在王府井等处安装了新式钟表。

1958 年建成的北京火车站（北京东站），站外的钟楼上安有大钟，售票处、站台、候车室里也安有大钟，它们走得完全一样，而且里边没有摆。原来，北京站的钟是一套“子母钟”。在安静的房里有一座精密的摆钟——母钟。母钟的摆有节奏地来回摆动，每隔一分钟便向外输送一股电流。子钟的肚子里有一套装置，跟电铃的锤子一样，一接受电流，就动一下。你如果仔细看看北京站的钟，就会发现，它上边没有转个不停的长秒针，那分针也不是在均匀缓慢地转动，每到关键的一刻，那分针就会突然跳动一格。在 50 年代，世界各大城市的火车站、飞机场里都安了子母钟装置。

在西单附近的北京电报大楼上，有一座钟，它不但会自鸣报时，在夜里还会发光。据考证，最早在钟上安照明设备的是英国伦敦弗利特大街圣剑桥



大教堂，当时没有电灯，在钟的四周安了 12 盏瓦斯灯。我们电报大楼上的钟灯却不同，它的表针和数字里都是发光的电灯，在老远的地方就能看清楚是几点钟。

## 代替挂摆

钟大了是不方便的，人们总希望有个随身携带的钟表。用发条当动力以后，钟总算从沉重的重锤下解放出来了，可以做得小些了，可以做成能移动的了。

最早能携带的钟表，是法国国王路易十一的。他命令工匠为他做了一架比较小的钟，可以装在箱子里，用马驮着到处行走。一个名叫马丁·格雷的仆从，专门为国王看管马匹和时钟，国王到哪里去游玩，马丁就牵着驮钟的马跟在后边。马丁总要提醒自己，一是别忘了喂马，二是别忘了为钟上弦。因为马丁干着马夫兼“钟夫”的话计，路易十一每天要赏给他 5 块钱呢！

怎样才能把钟做得更小巧呢？很明显，用挂摆来计时，钟就不能做得很小。

于是，不少人在思考着这样一个问题，能不能根据摆的原理，改进一个钟表的构造呢？你看，那钟摆总是一忽儿左，一忽右地摆动，每一次运动都在重复着上一次的运动。想一想，在我们周围还有没有类似的运动呢？

找一根弹簧（用皮筋也可以），在弹簧下边挂一个小锁头，把弹簧挂起来，拉一下小锁，怎么样？小锁头上上下下地跳动起来了。仔细观察一下，它每次振动的时间总是差不多的，这就是它振动的固有周期。

用这样的弹簧就能当摆。国产的一种“逍遥钟”，它的摆就是个上下振动的螺旋型弹簧。那摆锤是件工艺品，它的样子可以多种多样，但是，重量是不能改变的。

要是在老虎钳子或者其他工具上夹住一个钢片，用手拨动它一下，它也会左右振动起来，同时发出嗡嗡的响声。小钢片自由振动一次所用的时间，也是一定的，这是它的固有周期。用这种自由振动不是可以来计量时间吗？

依据这个原理，几百年前的钟表工人制造出了摆轮游丝装置，代替了伽利略发明的单摆。今天使用的小闹钟、怀表、机械式手表的心脏都是摆轮游丝。

游丝是一根螺旋形的弹簧，一头安在摆轴上，另一头安在一个固定的地方。摆轮是一个圆圆的金属轮，牢固地安在摆轴上。摆轮一转，摆轴就转，摆轴一转，游丝卷紧，游丝一紧，就产生了弹力阻止摆轮再转。摆轮只好慢慢停下来，接着便又在游丝弹力的作用下向相反的方向摆动。当摆轮转到平衡位置时，游丝没有弹力了，可是摆轮却像个刹不住的大车轮，依然转着，这一下又使游丝反卷。那游丝不甘心反卷，便又产生反方向的弹力，使摆轮渐渐停下来，回过头，冲向平衡位置。当摆轮冲到平衡位置时，游丝又一次失去弹力，再一次被摆轮卷起……。这样下去。如果没有外力的作用，摆轮游丝系统将永远摆动下去，而且，每摆一次的时间都是一样的，正像那来回摆动的单摆一样。

用摆轮游丝装置代替钟摆，在钟表史上是一次飞跃，它的起点就是闪光的思考：“能不能改变一下摆呢？”

## 从水钟到机械钟

大约在 1000 多年以前，希腊人制造了较为精巧的水钟。它的结构是这样的：贮水壶上部一侧有个小孔，多余的水可以从这个小孔溢出，这样就能保持固定的水平面，保持恒定的压力。水从贮水壶下部的小孔流出，注入受水壶。受水壶内有一浮舟。浮舟上装有“护钟神”——箭竿。受水壶中的水达到某一高度时，通过虹吸管使水注入旋转的平衡轮（它由于自身的重量而转动），驱使一系列齿轮转动，从而按照昼夜的长短把计时用的鼓状圆筒带到新位置。随受水壶水面高度的变化，“护钟神”就在圆筒刻线上指出时辰。这些刻线是不等长的，有些还是斜的，以便指示出冬季里一天的时辰。

我国古代对水钟的发展做出了突出贡献。最著名的例子是北宋初年（大约公元 1086 年）苏颂设计制造的“水运仪象台”。

水运仪象台高三丈五尺六寸五分（约 12 米），宽二丈一尺，是一座上狭下广的三层木结构建筑。全台由水斗、木轮、钩状铁拨等组成传动系统。它用水作动力，是一架复杂的天文仪器。它的计时部分原名“昼夜机轮”，是一具精巧的水钟。在这里，苏颂使用了相当于现代钟表中的擒纵器的一系卡子和枢轮杠杆装置，通过大小齿轮的啮合控制水斗转动和枢轮运转速度。整个计时部分共有五层木阁：第一层是昼夜钟鼓轮。轮上有三个不等高的小木柱（起凸轮作用），可按时拨动三个木人的拨子，拉动木人手臂，一刻打鼓，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，表示 12 个时辰的时初、时正，相当于 24 小时。该轮上的 24 个木人随着轮子转动按时在木阁门前出现。第三层是报刻司辰轮，轮边有 96 个司辰木人，每刻出现一人。第四层是夜漏金钲轮，可以拉动木人按更序法钲，报告更数，并且可以按季节调整，以适应昼长夜短的变化。第五层是夜漏司辰轮，轮边设 38 个司辰木人，木人位置可按季节变动，从日落到日出按更序排列。

苏颂主持制造的这架水运仪象台，不仅继承了我国汉、唐以来的天文学和机械学上的成就，同时还有创新。昼夜机轮就是世界上最早的天文钟，它所用的擒纵装置也被公认为世界上机械钟的祖先。

但是，苏颂等人的这项发明并未得到封建王朝的支持和鼓励。当时有一位翰林曾以阴阳五行说来非难和阻挠仪象的制造和安装。他胡说什么宋朝是以火德称王于天下的，这个仪象台名为水运，不是国家的吉兆，因为水可以克火。他的奏折送到皇帝那里，皇帝就听信谗言，命令把“水运”二字，取消，改名为“元祐浑天仪象”，并让把它安放在京城（今河南开封）西南角，因为据他们说，西方属金，南方属火，金火夹攻，可以镇住水。这实在是愚昧、荒唐！

后来，金兵攻陷开封，北宋灭亡。这架杰出的天文钟为金兵缴获，移置于北京。但由于战祸连绵，秩序紊乱，至使这一重大发明未得推广、应用，停滞达百年之久。

苏颂的水钟可以说是一种最早机械摆轮，是已知以机械运动的周作为计时标准的早尝试。由于是通流水计时，而不是过机械装置本身运动计时，因此，可以把它看做从定流水守时到机振动守时的过渡。

随着十字军征，中国时钟制造术传到了欧洲，刺欧洲人去制造类似装置。当然，一个聪明人，一旦知道某种东西是怎样做出来的时候，他常可找到自己做这种东西的办法来。从严格的专业意义上说，水钟和机械钟的根本差别

仅在于，前者涉及一个持续不断的过程（水从孔眼中流出），而后者则由一个不断重复的机械运动来控制。我们不是说欧洲人大约在 13 世纪发明的机械钟，特别是擒纵装置完全是照抄中国的。它们之间有区别，例如欧洲人不用枢轴和定时杆，而用心轴和冕状齿轮控制时钟机构的运动。但他们所依据的原理来源于中国，这是中外科学史家大多承认的事实。

英文里的“钟”叫 clock，它源于法文 cloche，意为“铃”。铃在中世纪欧洲人的生活中占有重要地位。他们很可能正是根据齿轮和摆动连杆制成的摇铃机械，吸取中国的擒纵装置，创造了欧洲早期的机械钟。

机械钟的发明是使将昼夜划分为等长的 24 小时制在欧洲得到普遍承认的决定性一步。意大利的米兰于 1335 年设立了公共钟，按一天 24 小时报时。

早期机械钟的钟速取决于驱动轮，而驱动轮又受到动力机构中摩擦力变化的影响，因此精度很低，每天要差一刻钟以上。

把 1 小时划分为 60 分，1 分划分为 60 秒是在 1345 年左右提出的，当时是为了表示一个月蚀的周期。但这只限于理论计算，没有进行实际测量，迟至 17 世纪中叶，机械钟还只有一个指针，钟面上也只有小时和四分之一小时的刻度。

由于缺少计量短时间的精确方法，所以尽管机构钟已经问世，科学时间概念的发展仍然受到严重阻碍。

## 摆钟的传说

对改进早期机械钟作出重大贡献的，是伟大的意大利科学家伽利略。他发现了摆的等时性原理。

摆的均匀摆动是人们继滴漏之后发现的一种真正的人造周期运动。从 17 世纪早期起，西方的工艺家们便把它运用到时钟上，作为稳定的“定时器”，使机械钟能够指示出“秒”，从而把计时精度提高了近 100 倍。

通常，人们往往喜欢给科学上的发现和发明笼罩上一层故事色彩。譬如，牛顿看到苹果从树上掉下来发现了引力；阿基米德洗澡时，从身体在水里的上浮发现了浮力定律；爱因斯坦根据建筑工人从高空脚手架上摔下时的感觉发现了广义相对论；等等。伽利略发现摆的等时性原理也被编成了故事广为流传。

通常的传说是这样的：伽利略在上中学的时候，有一天去比萨教堂做礼拜。微风吹来，使挂在天花板上的大吊灯来回摆动。伽利略注意到，链条一般长的两盏青铜吊灯，来回摆动的时间好像一样长。他凝视吊灯，终于发现：摆的快慢与摆锤大小和重量无关，而取决于摆的长短；摆长相同时，摆动一周的时间相等。同时，他还想到利用摆来调节时钟，并动手做了第一台摆钟。

这个故事加上传说，已经渗透到时钟发展史中去了。但是，这多少是有些不真实的。它差不多是小说家的虚构。

这个故事最早来自于伽利略的一个学生 V·维维安尼的记述。后者是伽利略传记的撰写人，也是伽利略的一个崇拜者。

在伽利略死后，物理学和天文学都有很大发展，超过了伽利略生前时代。维维安尼为了扩大他老师的影响。编辑了第一部伽利略著作选集，还特别写了一本富有传奇色彩的《伽利略传》。在这本书中，维维安尼绘声绘色地描写了伽利略在中学时代就做出了上述发现的故事。

后来，这件事越传越奇，它成了科普作家发挥想象力的一个绝妙题目。其实，这只是维维安尼的一种艺术创作。事实上，伽利略对摆感兴趣开始于他对重力效应的某些研究过程中。当他想到用摆控制时钟时，他已是一位老人，而且近乎双目失明了，根本不是在中学时代！

世界上第一个做出摆钟的人，是天才的荷兰科学家 C·惠更斯。

在惠更斯制造的摆钟里，有一个重锤起动器。它通过一个伞形齿轮。伞形齿轮受摆轮心轴控制。心轴由摆带动，并同一根 L 形杆子相连。摆样从 L 形样的孔内穿过。为了控制摆杆的摆动，惠更斯设计了一块挡板，由它使摆的摆动转向。

单摆的摆动不需要其他装置驱动，而主要靠重力驱动。这样就可以大大提高时钟的精确度。

当然，摆钟里的摆杆是金属制品，它的热胀冷缩将影响摆的周期。由实验知道，100 米长的不锈钢金属杆，在温度变化 5.6 时，会使一天的时间减慢 2.5 秒钟。不同的金属还有不同的膨胀系数。随着这些问题的发现和逐步解决，大约到 17 世纪，摆钟就已经相当完善了，它在一个星期里的计时误差只有几秒钟。

摆钟开辟了精确计时的新时代。它不仅提高了测量物理时间的精确度，而且可以看作是一种均匀划分固定时间间隔的手段，类似于把有限长的连续直线划分成大量等长的线段。因此，机械钟的发明，极大地促进了人们对时间的类几何均匀性和连续性的认识的发展。

## 航海计时

科学是生产力。生产的发展离不开科学，科学的发展又受生产力发展水平的限制。这种相互约束的关系，在时间计量中表现得也非常清楚。

在生产水平粗放的古代，人们用滴水（更早还有用燃烛、漏砂、落石）等方法测量时间。后来，由于冶炼技术的发展，出现了机械钟和摆钟。这些进步不仅反映人类认识自然、改造自然能力的增强，同时也真实地记录了人类科学文明史的每一个进程。

17 世纪以后，航海事业蓬勃发展。海员比任何人都更迫切地需要精密時計。对海员来说，精密守时钟犹如生命线，没有它便难于知道船只的位置，就有触礁沉船的危险。

为什么时钟对海员如此重要呢？因为测量地球上任何一点的经度离不开时间。

海上船只的地理位置，是用它的经度和纬度来表示的。测量纬度好像没有太大问题。很早以前，人们就知道，太阳和恒星的高度不仅随季节变化，也同观测者的纬度有关。海员只要简单地测定他所在地太阳的高度，或者北极星到地平面的夹角，就可以求出这一地点的纬度。在 17 世纪，任何有经验的水手都能以零点几度的精度测出船只所在地的纬度。

当时，欧洲几个发达的资本主义国家，出于军事和经济的需要，曾出巨额奖金，悬赏征求解决测定经度方法的人。1598 年，西班牙国王腓力普三世出 1000 克朗悬赏费。荷兰国王悬赏 10000 佛罗林。法国后来出价 10 万里弗。由此可以看出解决测定经度方法是当时十分迫切的问题。

在英国，1707 年发生了一次特大航海事故。当时，一支由海军上将 C·肖

维尔率领的英国皇家海军舰队，由于搞错经度而撞上了锡利群岛中的一个小岛。结果，4只舰艇和2000名水兵（包括舰队司令C·肖维尔本人在内的所有军官）统统葬身海底。英国政府对事故进行了长期调查之后，于1714年悬赏2.0000英镑（在当时这相当于一个中等富翁的数字），征求能以半度的精度测定地理经度的人。英国发表的官方公报是这样说的：

“兹颁发两万英镑奖金给予那些发明任何一种可以随时在海上决定经度方法的人。如果这种方法在往西印度航程中试验的结果与实际的经度位置相差在三十英里之内的话，将授予他两万英镑奖金，如果相差在四十英里，可得一万五千英镑；如果相差在六十英里内可得一万英镑。”

在这种情况下，很多科学家和有技术的工匠就致力于这方面的研究，使这项工作取得十分可观的进展。

科学家相信，至少在理论上，测定经度的方法是存在的，这多少同测定纬度一样，也取决于对太阳和恒星的观测。太阳和恒星的相互位置不随经度变化，但在东西方向有差别，这就是时间。

如果有一只船停在英国京都伦敦的格林尼治，船员在正午将自己的時計同格林尼治天文台時計对准，然后向西行驶。结果他会发现，船上的時計是下午3点（格林尼治时间）了，但太阳的位置看上去仍然是正午。

因为地球自转一周是24小时，地球经度变化为360度，所以船上的时间与格林尼治时间每差1小时就是15度。这样，海员就可以由这个时间差知道他处于格林尼治以西45度的地方。

那么，怎样让海员在出发时知道格林尼治时间呢？办法很简单，只要在醒目的地方安置一座大钟就行了。当时人们就是这样想的，也是这样做的。现在你要是去伦敦，还可以看到，在该市的威斯敏斯特高塔上有一具大得出奇的时钟。它在东西南北四个方向上各有一个直径几米的钟面，分针长三米半，它跳一格（一分）是15厘米，表示分的数字每个都有75厘米高。英国人把这个大钟叫做Big Ben（大本）。它高98米，建于500多年前。当初建造的本意就是为了让海员出发时对时的。

但是，要测定经度，单知道格林尼治的时间还不行，船上还必须有一个能精密守时的钟。由于船在运动，冷热、干湿变化很大，不同纬度的地方有不同的重力差，当时要造出足够精密的航海钟是困难的。但是，生产的需要是科学发展的动力。这样的钟终于造出来了。

第一个造出这种时钟的人是英国的约翰·哈里森。他是一个木匠的儿子，从小就喜欢工艺劳作。他费时近40年，于1769年制成了一只航海時計。1761年，哈里森的儿子约翰·威廉带着这只時計，从朴茨茅斯港出发，远航牙买加，作测量试验。

航行的第一停靠站是马迪拉岛。按照以往经验，朴茨茅斯港到马迪拉只有9天航程。但第9天，船员们仍看不到马迪拉岛。这时，船长用老方法估算，船的位置是西经13度51分；然而，威廉用新的時計计算却是15度19分，并预言第二天就能望见马迪拉。

第二天早晨六点钟，马迪拉果然出现在船员们面前。如果按船长计算的方位改变航向，那他们就根本到不了马迪拉。船员们高兴地狂欢起来，一下子就把船上的啤酒喝光了。

因为马迪拉只有白酒卖，没有啤酒，于是船长决定在马迪拉不停，直驶牙买加。到了牙买加，同当地的经度值相比，威廉用新時計测得的结果不仅

没有超过半度，而且只差百分之二度。

约翰·哈里森要求获得政府颁发的 20000 英镑奖金。

但不知是什么原因，大概是出于慎重吧，英国政府只答应分批支付，直到 1773 年哈里森 80 岁时才最后付清。哈里森在拿完全部奖金后的第 3 年就与世长辞了。

英国政府的这类“慎重”或许就是造成时钟发展史上一段有趣记述的根由：在时钟发展史上，第一只航海时计是哈里森制造的；但航海时计的发明人却不是哈里森，而是法国人勒·鲁瓦。后者在哈里森同时代采用了不同于哈里森的原理，也制造了相当精确的航海时计，并且得到了法国政府的及时承认。

对于这个严格说来不敢相信自己国人创造能力的当时的英国政府，人们应该总结出一些怎样的教训来呢？

## 钟表结构的更新

### 高贵的怀表

100 多年前，钟表的价格十分昂贵，尤其是小巧的怀表，更是地位和财富的象征。所以，当时的贵族阔佬纷纷订购金银作壳的怀表。

1783 年，法国皇帝路易十六的皇后玛丽·安托涅很想带一块世界上最高贵的怀表，她就把法国著名钟表匠布尔盖召进了宫。

“我要你给我造一块举世无双的怀表。”皇后下令道：“费用不限，多少钱都可以，时间不限，多少年都可以，就是要独一无二！”

“是，让这块表像皇后陛下那样举世无双，尊贵至极！”布尔盖答应着：“让这块表成为怀表皇后！”

从此，布尔盖便进宫专门为玛丽皇后制作怀表了。他辛辛苦苦干了 19 年，终于造出了符合皇后要求的怀表。可惜，这时玛丽皇后已经死了。于是，布尔盖便为这只举世无双的怀表起了个名字叫“玛丽·安托涅”。

“玛丽·安托涅”的动力是白金重锤的自动上条机构，并且有显示发条转数的记号；表的轴承是用蓝宝石做的，表盘是用水晶制作的，里边的机件许多都是用黄金或特制钢制的。

“玛丽·安托涅”不愧是怀表皇后，它可以作秒表用，还有万年历和金属温度计等。

皇后如此宠爱怀表，大臣和贵族们自然也就追求奇异的怀表，用以显示自己的高贵了。所以，那个时期出现了各式各样的怀表：有星形的，有蝶形的，有书形的，有心形的，有百合花形的，有十字架形的，甚至有骷髅形的。

怀表成了装饰品，常绘有精致的图画，涂着珐琅，镶着宝石，配有金链。

把这样的怀表藏在口袋里，主人是不甘心的。为了显示自己，当时的人就往往把怀表戴在脖子上，或挂在胸前，有的绅士则把几块表挂在肚子上。

怀表又成了一种荣誉的象征。法国国王常常把各式各样的怀表赏赐给忠于国王的人，这时的怀表就成了“勋章”。在法国大革命时期，许多有这种表的人都被愤起的民众抓了起来——怀表成了为皇上干坏事的证据！

怀表当然成了小偷的目标。俄罗斯有一本书上说，奥尔良公爵有一只非常精致的怀表，价值连城。有一天奥尔良公爵在家里举办舞会，在快要散场时，公爵发现他的表丢了。他的副官马上喊道：

“大人，我们把门关起来，一个个搜！”

公爵摆了摆头，自作聪明地说：“不用搜查，这是一只自鸣表，不出半个钟头，他一叫，就把那个贼捉住了。”

可是，把大家关了很长时间，谁的衣服里也没有出响声，自鸣表终于被聪明的小偷偷走了。

### 快速追击

最早的钟表只有一个指针——时针，早期的怀表和手表也只是一根指针。直到 1660 年，还没有见到有分针的表。公元 1665 年，英国工匠约翰·菲塔造出了带有分针的表。秒针是在分针之后 60 年才出现的。这个历程一方面说明钟表工艺在不断进步，一方面又说明人类活动对时间的要求越来越精

细。

自从手表诞生以后，人们就千方百计地为提高手表的走时精度而攻关。

为了使手表走得准，人们为表里的各种转轴安上了宝石轴承（又叫钻石轴承）。常见的“17钻”手表，里边就装着17只人造宝石的轴承。人造宝石非常坚硬，手表走上几十年，里边的齿轮转上几千万转也磨不坏它！

为了让手表走得准，人们又在摆轮游丝系统安装了防震器。防震器里的主角是防震簧，它好像汽车上的沙发椅，当汽车颠簸地前进时，沙发里的弹簧来回伸缩，使我们免受震动。防震簧有许多种，常见的有马蹄式防震簧、弹簧式样防震簧和三角形防震簧。

但是，“头上”戴着宝石、“脚下”踩着“沙发”的手表，有时仍然走不准。这是为什么呢？

钟表匠们发现，手表走得准不准还和摆轮游丝的周期有关系。摆轮周期越短，摆得越快，手表走得越准。你看：

这块粗表的摆轮是个懒汉，每秒钟来回振动2.5次，这块表走上一天就会差180秒。

这块细表的摆轮勤快些了，每秒钟来回跑3次，它走上一天只差12秒了！

这是一块快摆手表，里边的摆轮嘀嘀嗒嗒地飞快摆动，一忽儿左转，一忽儿右转，短短的一秒钟来回摆了6次。瞧！它走了整整一天，误差却只有6秒钟。

勤快的摆为什么走得准呢？

小陀螺可以揭开其中的奥秘。你玩小陀螺（捻捻转、地喻子）时会发现，陀螺转得越快，它就越稳当，越能脚尖着地而不倒。要是它转慢了，就会乱晃起来。骑自行车时也会有这种情况：车轮转得愈快，车子愈不易倒。车轮转慢了，车子就不稳了。这说明，速度越大、周期越短，物体越能保持住它原来的样子，越不容易受到外来的影响。

摆轮游丝的稳定也和它的工作周期有关系，摆轮周期越短，频率越高，就越不易受到外界影响，走得就越准。照此说来，要想让手表走得准，那就要提高摆的频率，做到“快速追击”。

你也许会说，让摆轮每秒钟振动千万次、万万次，手表不就走得准了吗？问题不那么简单，游丝和摆轮的频率根本到不了那么快！

## 电来帮忙

影响机械钟表走时精度的，还有一些其他的因素。比如，发条的紧松程度不断变化，也会造成走时误差。大家都有这样一条经验，每天按时上弦，表就走得准些，这就是由于定时上弦使发条紧松产生的变化，每天都是稳定的。

看来，要想提高钟表精度，一方面要改进摆，另一方面要改进发条。

在发明了电动机之后，有人就设想用电当钟表的动力。1849年，有人提出了这样的设想：用电给悬摆增加动力，代替重锤和发条。据说，当时出现了好几种方案。可能有人做过实验。有记载说，在某证券公司使用过这样的钟。至于这“电钟”究竟是什么样的，我们还没有找到资料。

请电帮忙的一个例子，是1913年英国国会大厦大钟的重锤改用电力来提升，把这个多年来需要两个人干两天才能完成的苦差事交给电去完成。



在许多人研究怎样用电动机提升重锤、用电动机为发条上弦的时候，有人提出了这样的设想：既然交流电动机在电源稳定时转速是稳定的，造一台这样的交流电动机不就是一座钟吗？

1914年，美国人华林开始研究制造专门用于钟表的微型电动机，1918年第一台交流电钟研制成功。这种电钟主要是一部转速稳定的微型电动机，由电动机带动一系列的齿轮变速装置，最后驱使表针指示时间。这种电钟只有在电源十分稳定时才走得准确，电源有了波动，它就会闹脾气。尽管如此，电钟的出现在钟表史上仍是一件有意义的事件：它既取消了发条，又没有用摆。从发明思路上说，华林等人的研究为后人研究电子钟表开辟了道路。

1955年，有人大胆地对机械手表进行了一次改革：取消发条，让电池来当动力。电走进了手表，出现了“电手表”。

后来，人们又在电手表的基础上，在手表里加进去一些晶体管等电子元件，仍然用摆轮游丝来计量时间，这就是“摆轮游丝式电子手表”，它诞生于钟表之国瑞士。

摆轮游丝式电子手表由于取消了力气不均匀的发条，用了频率很高的快摆，走起来就准多了，走上一天也差不了1~5秒钟。

这段历史使人们产生了这样的思考：能不能用灵巧的电子线路来代替机械手表里的全部机械呢？能不能造出频率更高的“摆”呢？

顺便说一点，用电当动力是钟表发展史上的一个重要进展。1992年5月，日本造出了一架巨大的太阳能钟，这架钟的动力就是由太阳能电池板带动的电动机。

## 唱歌摇摆

伽利略对单摆的研究告诉我们：像摆那样周而复始的运动可以计量时间。吊灯的摇摆是周而复始的，钟摆和摆轮游丝也是周而复始的。那么，在生活中或在科学实验中，还有没有类似的运动呢？

有的，它就在你的身边。不信吗？拿一面锣来，把它敲响用手去摸一摸锣面，便会感到它在振动——一忽儿凸出来，一忽儿凹进去。找一个鼓来，在鼓面上撒些砂粒，把鼓打响，砂粒便会随着鼓面的振动跳将起来。

声音就是时间的脚步声：那些振动着的发声体，可以振动得很快。我们听到的最尖的音调，每秒钟要振动2万次，也就是它的振动频率达到了每秒2万周，这可比快摆手表的摆轮快多了。还有的发光体能发出比每秒2万次还要快的声音，人的耳朵听不见了，这种声音就叫超声波。

于是，有人产生了这样的设想：能不能用振动着的发声体来当“摆”呢？有人想到了音叉。

你也许在常识课上见到过音叉，音叉有两个一样长的音叉臂，用小锤打击音叉，音叉臂就会忽左忽右地振动，发出悦耳的声音。

音叉和单摆有着同样的犟脾气：它每振动一次所用的时间总是一定的。可贵的是，音叉的振动可以比摆轮的振动快上百倍，达到每秒钟振动300次到720次，这就是说它的频率是300周/秒（读“每秒周”）到720周/秒，也叫做300赫兹到720赫兹。赫兹是频率的单位，1赫兹就是1秒钟振动1次。

音叉发出的音调总是一定的，不同的音叉发出的音调不同。这说明，每

个音叉都有它自己的固有频率，和一定长度的单摆一样。

大约在 50 年代末就有人开始研究用音叉代替摆。音叉振动得那么快，怎样带动齿轮呢？发明家们又想到了电。你还记得前面介绍过的北京站子母钟吗？子钟的肚子里没有摆，它每接受一次电流，便动作一下。

在电子技术有很大发展的时期是六七十年代，装有晶体管和电子线路的音叉钟、音片钟和音片式电子手表相继问世了。音片是用特殊的合金做成的片，它比音叉小巧，振动起来也很稳定。音叉钟表全是以电池为动力的。

以音叉（音片）为心脏的电子手表叫第二代电子手表。第二代电子手表走起来要比机械钟表和摆轮游丝式电子手表准确多了：第一代电子手表是一个星期最多差 60 秒，第二代电子手表是一个月最多差 60 秒！

音叉，这个会唱歌的摆，在能干的电子线路伴奏之下，唱出了最优美的时间之歌，时代之歌！

## 时间的传送

舰船在大海上航行，飞机在蓝天中翱翔，运载火箭腾空而起沿着准确轨道到达千万里之外的预定落点，哪一样都离不开精确的时间。可是，精确的时间是怎么得来的？回答也许是简单的：它是时间服务部门提供的。时间服务部门通过怎样的方法提供时间？这里却包含着十分丰富的内容。

时间服务部门首先必须确定、保持着一个高精度的时间标准；其次，还要通过适当方式把标准时间传送出去。这一整套工作统称为时间服务，或者按照我国的传统说法叫做授时。

授时和测时一样，它也是随科学技术的发展而不断进步的。

在生产力低下的古代，人们曾经使用过敲钟或击鼓的方法进行报时。我国许多历史名城目前还保留有古代的钟楼或鼓楼，它们就是这类授时方法的重要遗迹。

后来，航海事业发展了，敲钟或击鼓报时满足不了海员的需要，于是出现了“落球报时”。这就是：人们在重要商埠的码头、港口竖起高竿，在高竿顶端挂上气球，按规定时刻升降气球，借以向沿海船员报告时间。

今天看来，这种授时方法未免粗笨；但海员对它却怀有崇敬之情。因为它为海员忠实地服务了近百年之久。

到了 20 世纪初期，无线电进入实用阶段。1902 年，法国人首次在举世闻名的艾菲尔铁塔（位于巴黎市中，高 300 多米）顶层试验发播短波无线电时号，取得了完满成功。接着，德、英、美等国相继试验，也收到良好效果。于是一个崭新的无线电授时的时代就这样开始了。

目前，全世界约有 50 多个电台每天都在发播标准时间信号。我国的授时工作由中国科学院陕西天文台负责。这里是我国的授时中心。它保持着高精度的原子时间标准，拥有现代化授时设备，每天用 2.5, 5, 10 和 15 兆赫以及 9351, 5430 千赫的频率发播我国的标准时间信号。发播电台的呼号为 BPM。这个天文台还通过 100 千赫的频率发播长波无线电时号，电台呼号为 BPL。

授时部门的另一重要任务是为某些时钟的同步提供一个共同的参考标准。什么叫同步？我们可以用日常生活中的一些常见现象来说明。例如，听到广播电台报时的最后一响，人们会习惯地看一看自己的手表，看看它所指的时间同电台报告的时间是否一致，相差太大时就要调整。还有，在描写战

争的影片中，也常有这样的镜头：一次大的军事行动前，各战地指挥员往往要和战役总指挥对表，以保证各部队之间动作协调一致。这种使许多时钟或手表相对于同一标准给出相同时间读数的工作就叫做时间同步。按照现代人们的生活节律，各人手表之间相差不超过1分钟似乎就可以了；但是对于精密的科学实验，特别是对空间飞行来说，有时相差万分之一秒都嫌太大。例如，为了跟踪宇宙飞船，要在地面布置一定数量的监测站，通过测量发向飞船的无线电信号返回地面的时间计算飞船的距离，以确定飞船位置，并作必要校正，使它能准确地按预定轨道运行。在这种情况下，如果各监测站的时钟之间那怕相差只有亿分之一秒，也可能会使飞船大大偏离轨道。

因此，近一、二十年来，时间同步研究非常活跃，出现了许许多多的传送时间的方法和技术。在这些新方法和新技术中，除短波和长波外，电视和卫星技术的应用范围最为广泛。

利用电视传送时间一般采用两种方法：一是在电视演播室放一个原子钟，直接把原子时信号发送出去，这叫“有源传送”；另一种是不放原子钟，在不干扰正常电视广播情况下，利用电视信号中某个特殊脉冲作为比对时间的参考标准，这就是“无源传送”。

无源传送法简单易行，现为许多国家所采用。参考标准由晶体振荡器产生，它不受电视图象调制变化影响。用户电视机收到该信号后，将其送入计数器，作为开门信号；同时把要对比的时钟信号也送入计数器，但作为关门信号。这样，计数器上显示的读数便代表这个时钟相对于参考标准的时间差。如果有两个时钟同时进行这样的测量，我们就能以电视信号作为中间媒介而得到它们之间的钟差。利用这种方法可以使许多时钟之间的同步精度到百万分之一秒。

利用卫星传送时间开始于人造地球卫星技术发展的早期。初期的实验在英、美之间进行。他们把原子钟放到人造卫星上，由卫星上的“电台”将原子钟的时间信号发向地球，地球上的人收到卫星信号就能知道时间。这种方法传送时间的距离远，只要几颗卫星就能解决全世界的时间问题；但是发射这些卫星却要耗费巨大的资金，维持费用也很惊人。所以目前人们只是利用卫星的附带职能进行授时，将来或许会有专门的授时卫星系统出现。

## 龙宫珍宝

神通广大的孙悟空手里提着个金箍棒，那是他从龙王的水晶宫里取出来的法宝。有了这件法宝，他才战胜了群妖。遗憾的是，孙悟空忘了从水晶宫里取出水晶，那清澈无瑕的水晶可是一件奇宝呢。

在现代的时间争夺战中，我们的科学家制取出了奇异的水晶，用它制造了现代的顺风耳、千里眼、神算盘以至机器人——现代各种电子技术都和水晶有着密切的关系。

水晶是天然石英的一种。我国是最早使用水晶的国家。据说，远在公元前500年，我们的祖先就使用过水晶。美丽的水晶给人留下了深刻的印象，使古人产生了“水晶宫”的幻想。

水晶究竟是什么呢？大家知道，不计其数的固体共分两大家族。水晶所属的家族叫做非晶体，雪花、食盐都是这个大家族的成员；另一个家族叫做晶体，松香、沥青、玻璃都是非晶体。

在晶体这个家族里，又有单晶和多晶的区别。整个物体是一个晶体的，叫做单晶。水晶和食盐都是单晶。拿一粒食盐，仔细看看就会发现，它的外形很规则，总是四四方方的。就是那细小的精盐粒，也具有四四方方的外形，不信你用放大镜看一看。当阳光照到它上边时，晶莹的光会使盐粒显得格外美丽呢！

如果物体是由许多杂乱无章的小晶粒组成的，每个晶粒虽然有规则的外形，但整个物体却没有规则的外形，这种晶体就叫多晶体。常见的金属都是多晶体。

晶体为什么有规则的外形呢？

原来，晶体中的分子、原子或离子是按照一定规则排列的，好像操场上的运动员表演“叠罗汉”，每个运动员在空间都有一定的位置。叠罗汉的队形尽管各式各样，却都是由那些罗汉组成的。晶体中分子、原子或离子的队形，就叫晶体的“晶格”。

水晶是天然石英的单晶，是无色透明的多面体，是一种物理和化学性质很稳定的物质。

石英晶体——水晶，究竟有什么本领呢？科学家们做过不少探索。

1880年法国人比埃尔·居里用石英晶体做实验时，发现在晶体上加一个力，就有电荷产生，压力大电荷就多。这个现象被称为“压电效应”，就是一压就生电的意思。

那么，要是往石英晶体里通上交变电流，石英晶体会不会产生振动呢？这就是“反压电效应”的设想。

1918年法国物理学家郎之万根据“反压电效应”的设想，做了一个有趣的实验：他找了一大块石英晶体，往上边通上交变高压电，嘿，水晶振动了，发出了超声波！

石英晶体经过加工以后就可以制成一种振荡器，它的振动频率非常高。可贵的是，石英晶体的固有频率比较稳定。当温度、湿度和震动情况发生变化时，它往往能保持住自己的固有频率。你看，用石英振荡器当钟的“摆”不是很好吗？

于是，有人开始研究石英钟表了。1930年美国的马利逊首先将石英晶体应用到钟内，成功地创造了石英钟。

## 石英钟表

利用石英晶体的压电性质，可以产生频率极稳定的高频振荡。音叉手表中的音叉摆只能把1秒钟分成300份到720份，因为它的频率是300~720赫兹。石英晶体就不同了，它的振动频率可以从几千赫兹到几万、几百万赫兹，这样就可以把1秒钟分成几千、几万甚至几百万份，计时的准确度自然就很高了。

1967年，瑞士和日本分别研制成功第三代电子手表，这种手表的心脏就是振动的石英晶体。

在石英电子手表里振动的“石英摆”——石英振荡器（也叫“石英振子”、“水晶振子”），频率一般都是32768赫兹。高频石英手表里的振荡器频率已经达到4194304赫兹。它把1秒钟分成了400多万份，这种高频石英手表走上一年最多只差3秒钟！

由于石英电子手表里的石英振荡器频率很高，这就需要一套装置来对它“分频”——晶体振动若干次，它才发出一个信号。做这项工作，齿轮是望尘莫及的，只有求助于电子了。除此之外，维持石英振荡器的振荡、推动指针的转动也都要电子技术来做。所以，用石英当摆的手表，必须依靠电子技术。

石英电子手表（指针式石英电子手表）是由石英晶体振荡器、振荡电路、分频电路、放大电路、微型步进电机组成的。这么复杂的电路常常要由 500~800 个晶体管元件组成。要是一个个焊接起来，起码要装成一个大盒子，怎么戴在手上呢？

这就要依靠集成电路了。集成电路是个小片片。比如，有一种电子手表的晶振与分频互补电路，只有 6 平方毫米大，和一个火柴头差不多。

不要小看这小小的集成电路，把它放到显微镜下就会看到它的奥秘。看！它的表面有一层银白色的斑纹，那是一层很有规则的图形，是连接电路元件的金属线。再仔细观察，你会看到在这些金属线下面有很多不同颜色的亮晶晶的区域，这些就是集成电路中的元器件，有的是晶体管，有的是电阻，紧凑地排列在硅片里。一个火柴头大小的集成电路中可以包含千百个晶体管元件，这个集成电路每隔 1 秒钟就输出一个脉冲电信号。

石英电子手表用的集成电路，一般都是“互补金属氧化物半导体集成电路”，简称为 CMOS 集成电路。这种集成电路能在火柴头大小的硅片上刻出 1500 个以上的晶体管元件呢！

从分频电路里每隔 1 秒送出一个信号，怎么用这个信号指示时间呢？能不能直接用它来推动电动机呢？可惜，这个信号电流太微弱了，需要加一个放大电路，把这股小信号变成强电流去推动电动机。

手表里的电动机是十分微小的，它用相当于头发丝十分之一粗细的导线绕成（这种导线有时长达 50 米），整个电机的直径有时只有几毫米。当每秒一次的电流通入线圈以后，电动机就会转动。看！电子表的秒针总是一跳一跳的，每跳一次恰好是 1 秒，那就是脉冲电流在起作用。这和北京站上的子母钟一样，不过那座钟是 1 分钟才跳一下，而石英钟和石英电子手表的秒针是 1 秒钟跳一次。这种电机运转起来很像迈开步伐前进的士兵，他们的每一步都是一样的。所以，人们给这种电机起了个名字叫“步进电动机”（步进马达）。

从表面上看，石英指针式电子表和机械手表差不多。仔细去看，它的秒钟是跳跃前进的。使用起来就会发现它的优越性了：这种手表用电池当动力，不用上弦，走时精度是普通机械手表的 100 倍，走上一年最多只能差 3 秒钟。

## 跳字表

第三代石英电子手表并不是最先进的。你见过“石英跳字表”吧？上边没有指针，那数码会自己跳动，这是 70 年代在美国出生的第四代电子手表。这种手表为什么能跳字呢？

这个故事要从 1888 年一次科学发现说起。

1888 年的一天，奥地利植物学家莱尼茨尔正在一间简陋的实验室里做实验：他把一种名叫“胆甾醇苯酸酯”的晶体放在试管里加热，看看它溶解时的情况。

大家知道，晶体达到一定的温度才能熔化成液体，而在熔化的过程中温度是不变的。例如冰，在 0 时开始化成水，冰在融成水的过程中尽管不断加热，那冰水混合物的温度总是 0，这个温度就叫冰的熔点。当冰全部熔化之后，再加热，水的温度才上升。

胆甾醇苯酸酯的熔点是多少呢？莱尼茨尔发现，当温度升到 14.55 时，晶体开始熔融成为乳白色的混浊流体，温度不再上升了。莱尼茨尔想，也许这就是晶体的熔点吧？等到全部熔化之后，他继续加热，那液态物质温度随着升高了。可是，当温度升到 178.5 时，竟又出现了温度停止上升的现象。难道它有两个熔点？科学家仔细地看管着试管，他发现这时那混浊的流体开始变成清亮的液体，直到液体完全透明了，那温度才又徐徐上升。

莱尼茨尔找到了德国物理学家雷蒙恩。雷蒙恩在偏光显微镜下仔细地观察着温度在 145.5~178.5 的胆甾醇苯酸酯流体，一个奇怪的情景出现在雷蒙恩的眼前：乳白色的胆甾醇苯酸酯流体呈现出了光的双折射干涉条纹，这是固态晶体才有的性质，而固态晶体的这种性质是由于它的分子规律地排列造成的，正像运动员在操场上表演叠罗汉，用灯光一照，它的影子也是整齐的“罗汉队”一样。在大街上胡乱走的人群不会出现“罗汉队”的影子，那就像物体里的分子。

经过多次试验，雷蒙恩发现，温度在 14.55~178.5 的胆甾醇苯酸酯流体，既具有液体的流动性质，又具有晶体的某些电学和光学性质。严格地说，这种物质既不是液体又不是固体，它是物质的另一种形态。雷蒙恩给它起了个名字——液晶，即“液态晶体”的简称。

液晶的发现引起了无数科学工作者的好奇心。人们发现，液晶有许多种，人的眼睛里有个光感受器的膜结构就处于液晶态，神经纤维里也有液晶物质。人们还发现，液晶对于光、热、电、磁极为敏感。这是怎么回事呢？

原来，液晶共有两大类，一类叫“溶致液晶”，一类叫“热致液晶”。莱尼茨尔试验时遇到的液晶是一种热致液晶。液晶态的物质分子也像晶体那样按照一定的“队列”排列着。热致液晶分子的“队列”有三种：向列相液晶、胆甾相液晶和近晶相液晶。科学家们对各种液晶的性质进行了深入的研究，到 1963 年才有人发现向列相液晶的分子“队形”能够在电和磁的作用下迅速变化，从而使它的光学性质发生变化，这叫液晶的电光效应。

液晶电光效应的发现，引起了人们的思考：“能不能应用这个特性为人们显示图形呢？这个问题就属于技术问题了。这其中有些钟表工程师就开始思考这样的具体技术问题：能否用液晶当表盘来显示时间呢？1968 年，美国无线电公司首先提出液晶显示技术方案，并制出液晶手表，可是没有成功。1973 年，日本人汲取了美国技术，加以改进，克服了它的缺点，研制成了 FE 型液晶显示技术，造出了跳字表，并且占领了手表市场。

从发现液晶到研究成应用液晶来制作跳字表，经历了 80 多年的时间。无数的科学家、工程师付出了毕生心血，其中许多人没有取得成功，也没有千古留名，而成功者却是站在他们的肩膀上摘下皇冠的。这就是科学技术的历史，也是人类前进的历史。

## 跳字表接电话

跳字表是利用液晶电光效应来报告时间的。在液晶显示器里装上由 7 段

笔画组成的一个“8”字型电极。哪个笔画通了电，相应的液晶分子就立刻改变队形，这一变形，光线就通不过去了，于是我们就看到了字码。

由于液晶的性质和温度有关系，使用跳字表时不应把它放在高温和寒冷的地方，也不应当在阳光下曝晒。

除了液晶显示的跳字表以外，还有发光二极管显示的跳字表和跳字钟。由于发光二极管用电太多，手表上很少用它，常见的是录像机上的跳字盘和汽车上的跳字钟，这种钟像灯一样自己发光，在夜里十分醒目。

用液晶或发光二极管来显示时间，使手表进入了全新的时代。这种跳字表被叫做第四代电子手表，也叫全电子式手表。

常见的液晶数字显示电子表的结构包括表环、塑料支架、液晶屏、反光片、石英晶体、集成电路、后盖、电池等大约有49件元件。

跳字表的特点就是特别能干。常见的全电子手表是7功能的：它可以显示秒、分、时、日、月、星期，并且可以闹——在预定的时刻发出响声。甚至把跳字表安在笔上、打火机上。

12功能的跳字表也相当普遍，它带秒表，可以测定一段时间间隔；带有倒数计时，还可以显示异地时刻，如格林威治时间等。这种手表往往还能记住100多年的日历，它自动报告你年、月、日、星期。

后来，人们把微型电脑装入电子手表，它可以帮助主人解方程，计算帐目。有的电脑手表有记忆功能，可以替主人记住电话号码。有的电脑手表有翻译功能，是一本简易词典，可以把日语译成英语，也会把英语译成日语。

80年代，无线电通讯技术进入了跳字表。首先出现了带收音机的电子表，以后又出现了录音机手表。1990年有报道说，日本精工表公司、美国蒂梅克斯公司和瑞士某公司正在分别研制一种能接受电文的手表。这种手表是这样工作的：由正常电话机打出电话（就叫“手表电话”吧），通过一系列电台的转播，打电话人的言语变成了文字信号，传到接电话的电子手表表盘上，电子手表像BP机那样一响，主人抬手一看，上边有一段文字：“爸爸，我下午跟同学一起去参加少年宫活动，晚上七点才回家。”

80年代初，人们还发明了一种能说话的电子手表，这种手表会用语言报告时间。如果你某个时刻有事，手表里的电子计算机到时候会向你喊叫：“该上课去了！”有的手表还带游戏机呢！

