

# 从实验 走向科学发展史

---

CONG SHIYAN  
ZOUXIANG KEXUE FAZHANSHI

林君祥 / 主编

天津出版传媒集团

 天津科学技术出版社

# 编 委 会 名 单

主 编 林君祥

副 主 编 俞维君

编写人员 林君祥 俞维君 魏仁永 吴秋彩  
张 奇 徐 峰 蒋贤军 钱 磊  
马玲玲 李国永 董军锋 楼春光

## 前 言

根据浙江省《深化义务教育课程改革的指导意见》，义务教育阶段的课程可分为基础性课程和拓展性课程两大类，这是义教课程体系建设的重大创新。拓展性课程的建设有利于统整基础教育课程改革，落实“立德树人”的教育理念；有利于优化学校课程结构、培育学校办学特色；有利于实施个性化教育，提高学生的学习兴趣和综合素质；有利于转变育人模式，促进学生全面而有个性地发展。

学校要开设知识拓展类课程和实践活动类课程，首先要有一本好的教材，根据学生的需求和规定的活动时间，安排学生开展拓展性课程的学习。目前多数学校的社团活动、兴趣小组活动主要为特长生开设，学生自愿参加，且教师所选择的教学内容也是碎片化的，缺乏一个完整的体系。要将这些活动课程化，使之能体现学校的办学特色，还需要解决多方面的实际问题。

鉴于上述情况，我们组织了一部分优秀的科学教师，耗费大量的时间和精力，在反复研讨、细致抽样调查的基础上，编写了《从实验走向科学发展史》这一拓展性课程教材，一共安排了25个项目，不同学校可以根据自己学校的时空条件及学生兴趣自主选择部分项目进行课堂教学。

在编写项目时，我们力求内容来源于教材，但又略高于教材，以体现内容的拓展性，有些可以增进学生对教材内容的理解，有些可以弥补教材内容的一些欠缺，还有些是对教材内容的深化和延伸，让学生对科学规律或知识的形成、发展和完善的过程有一个较全面的了解。对活动内容的选择，我们在充分考虑了知识的关联性和初中学生的动手操作能力之外，也考虑了活动的创新性、趣味性和取材的便利性，尽可能选择生活中易得的器材，或是可较廉价地从网上购买到的器材，使学生乐于参加我们的拓展性课程的学习，也便于学校开设各项目内容的教学。

本书在编写过程中得到了编写人员所在学校的大力支持、学生的配合，在此一并表示感谢！

林君祥

2018.10.20

目  
录

1	温度计	( 1 )
2	指南针	( 7 )
3	显“微”镜	( 14 )
4	细胞学说	( 20 )
5	光的折射	( 26 )
6	植物的嫁接	( 31 )
7	惯性定律	( 36 )
8	大气压强	( 41 )
9	流速与压强的关系	( 46 )
10	反射	( 51 )
11	神奇的激素	( 57 )
12	水果电池	( 63 )
13	电磁感应	( 68 )
14	空气成分的发现	( 75 )
15	物质的燃烧	( 79 )
16	光合作用	( 85 )
17	二氧化碳	( 90 )
18	质量守恒定律	( 95 )
19	酸碱指示剂	( 100 )
20	酸碱理论	( 105 )
21	摩擦生热	( 110 )
22	蒸腾作用	( 114 )
23	原子核能	( 119 )
24	酵素	( 125 )
25	维生素	( 130 )

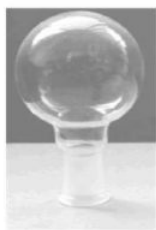
# 1 温度计

温度计是测量物体冷热程度的工业自动化仪表，是利用物质的某些物理属性（如三态物质的体积，金属或半导体的电阻等）随温度而变化的原理制成的测温仪器。一般的温度测量仪表都有检测和显示两个部分。

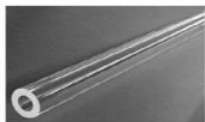
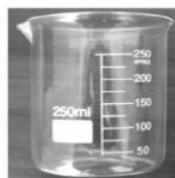


## 活动：制作伽利略温度计

### 活动清单



100mL 圆底烧瓶

内径 2mm  
长 20cm 的玻璃管

250mL 烧杯



铁架台



单孔橡皮塞



滴管



红墨水



冰袋

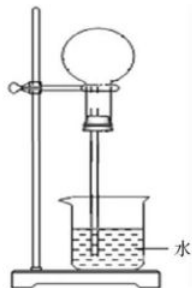


记号笔



### 活动步骤

1. 将烧瓶、橡皮塞、玻璃管、铁架台和烧杯组合成如图所示的装置。
2. 向烧杯内加入约 150mL 的水，再滴入 2~3 滴红墨水。调节铁夹高度，使玻璃管下端浸入水中深度为 5cm 左右。
3. 取下带玻璃管的烧瓶，使烧瓶在下、玻璃管在上，用滴管向玻璃管内加入半管左右的红色液体后，再重新将其固定到铁架台上。（静置一会儿，若管内液面不下降，说明气密性良好）
4. 用手捂住烧瓶外壁，3min 后，用记号笔在管内液面处画一刻度线 A。
5. 将冰袋放在烧瓶上方，3min 后，用记号笔在管内液面处画一刻度线 B。
6. 比较 A、B 两刻度线的位置，可得出伽利略温度计的刻度特点是：\_\_\_\_\_。



**小贴士：**伽利略温度计是利用气体热胀冷缩的性质制作而成的。

## 温度计的诞生及其早期发展

物体热胀冷缩的特性很早就为人们所知。公元前 3 世纪，菲罗在拜占庭（今土耳其的伊斯坦布尔）向人们演示过空气的热胀冷缩特性。虽然应用这一原理可制成温度计，但当时菲罗只是用它制作玩具。

1593 年，意大利科学家伽利略在实验中发现了气体的热胀冷缩现象，并提出了利用气体的这种特性来测量温度的设想。经反复思考、实验，伽利略发明了最早的温度计（见右图）。他的第一只温度计是一根一端敞口的玻璃管，另一端带有核桃大的玻璃泡；使用时先给玻璃泡加热，再把玻璃管倒插入水中，随着温度变化，管中水面会上下移动，根据移动的多少



即可判定温度的变化和高低。因为这个温度计受大气压和温度的共同影响，故它实际上是一个温度气压计。所有早期温度计的管泡内都含有空气，并且管上的刻度是任意刻画的。按现代标准来看，它们都不够完善。

1632 年，法国医生让·莱伊（第一个提议制造体温计的人）对温度计做了一个重大改进。他倒转了伽利略温度计（见左图），将水注入玻璃泡内而将空气留在玻璃管中，即用水的膨胀来指示温度；但让·莱伊没有封闭玻璃管上端，水的蒸发使测量经常出现误差。



1641 年，意大利托斯卡纳大公费迪南德二世用有色酒精代替水作为测温液体，并将螺旋状玻璃管上端密封，同时把刻度附在玻璃管上，制成了不依赖大气压的液体温度计（见右图）。



意大利西芒托学院的成员为酒精温度计选择了两个固定温度点，把间隔分成 80 或 40 个等份，并

规定其中一个固定点是在最冷冰冻期的雪或冰的温度，而另一固定点为奶牛或鹿的体温。他们发现冰的熔点为常数，并在温标中记为  $13.5^{\circ}\text{F}$ 。这种温度计在佛罗伦萨用于气象观察达 16 年之久。但酒精温度计有个大缺点：因酒精沸点是  $78^{\circ}\text{C}$ ，当温度高于  $78^{\circ}\text{C}$  时，酒精会沸腾变成气体。故酒精温度计不能测量  $78^{\circ}\text{C}$  以上的温度。

外观精美的酒精温度计后经英国、波兰传到法国。1657 年，法国天文学家布利亚得到这样一个温度计并对其进行了改良，第一次将水银作为测温物质；他从 1658 年 5 月至 1660 年 9 月作的温度记录是现存最古老的温度记录。水银沸点为  $357^{\circ}\text{C}$ ，这就大大扩大了温度测量范围。但水银温度计也有其弱点，水银在  $-39^{\circ}\text{C}$  时会凝固，所以它又不能测太低的温度。

## 温标的确定和发展

为了确定物体温度的数值，应给出温度的数值表示法——温标。虽然意大利西芒托学院为温度计选择了两个固定温度点并把其中间隔分成适当的等份，但在使用过程中，有人对他们选择的固定温度点并不满意，提出了种种改进方案。阿蒙顿在 1702 年改进了伽利略的空气温度计，并且选择水的沸点作为一个固定点，但他不知道水的沸点取决于大气压强。因此，这种温度计测得的温度数值准确程度不够高。但是，阿蒙顿在他的研究过程中第一次提出了绝对温度概念。

### 1. 华氏温标

受阿蒙顿影响，华伦海特开始研究温度计的精确结构，他对阿蒙顿关于沸点恒定性的研究很感兴趣。由于想知道各种液体的性质，他做了一系列实验，发现每一种液体都像水一样有一个固定沸点，且沸点会随大气压变化而变化。这一发现对精密测温学是一个很大贡献。华伦海特制作的温度计以人体血液温度（96 度）、氯化铵和冰水混合物的温度（0 度）作为上下两个固定点，并把其间分成 96 等份，每等份为一度；后来，他还做了调整，把纯水的冰点定为 32 度，沸点定为 212 度，中间分为 180 等份，这就是华氏温度，常用“F”表示。在我国，这种温标应用较少，而在英美等国则被广泛使用。

**资料：**1714 年，德国物理学家丹尼尔·家百列·华伦海特基于虎克的研究，将冰与盐混合后所能达到的最低温度定为  $0^{\circ}\text{F}$  ( $-17.7^{\circ}\text{C}$ )，而概略地将人体温度定为  $100^{\circ}\text{F}$  ( $37.7^{\circ}\text{C}$ )，两者间等分成 100 个刻度。

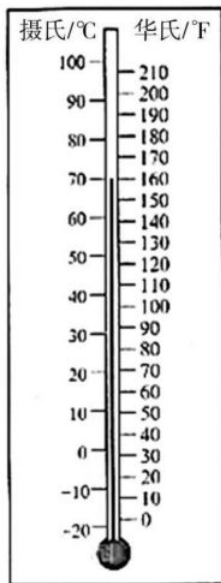
根据德国科学家华伦海特于 1724 年所写的一篇期刊，他使用三个参考温度来标示他的刻度。将温度计放入由冰、水以及氯化铵所混合而成的盐水中，量得的刻度即为零度。盐水是一种制冷混合物，可以将温度自动维持在华氏零度。第二个刻度是  $32^{\circ}\text{F}$ ，为将温度计放于恰好有冰形成于表面的水中所量得的刻度。第三个刻度为  $96^{\circ}\text{F}$ ，为将温度计含入口中或夹在腋下时所量得的刻度。华伦海特表示，使用此一刻度，水银约在  $600^{\circ}\text{F}$  时沸腾。

之后，其他科学家观察到水的沸点比冰点约高  $180^{\circ}\text{F}$ ，并决定重新决定华氏温标，使得沸点刚好高于冰点  $180^{\circ}\text{F}$ 。因为这个缘故，人体的正常体温也被修正成了  $98.6^{\circ}\text{F}$ ，而不是原来的  $96^{\circ}\text{F}$ 。

## 2. 摄氏温标

尽管华伦海特在温度计的刻度准确性上取得了成功，但有人认为用人体血液温度作为温度基准点并不理想，因为不同健康人的血液温度不完全相同。因此，许多人又开始研究更先进的刻度方法。1730年，法国博物学家列奥米尔建议在温度计中使用酒精和水的混合液代替水银，他提出把水的凝固点作为0度、在标准大气压下的沸点定为80度，这就是列氏温标。列氏温标公布后，瑞典天文学家摄尔修斯认为从0到80的刻度有些别扭。1743年，他提出用水的沸点作为0度，将冰的熔点记为100度，理由是在标准大气压下水的沸点和冰的熔点都非常确定，容易生产重复性好的温度计。他的这种刻度方法受到了普遍欢迎。8年后，摄尔修斯的同事施勒默尔将摄氏标度倒转过来，即以冰的熔点为0度、以水的沸点为100度，这就是现在得到世界公认的摄氏温标。由于百分刻度是摄尔修斯首先提出来的，所以用摄尔修斯名字的第一个字母“C”表示摄氏温度“℃”。

摄氏温标由于所选量度体系同测温物质的特殊性质有关，因此，各种不同的摄氏温度计在测量同一对象的温度时，所得结果除冰点和沸点相同外，其他温度出现了差异。产生差异的原因是：第一，温标的确定依赖某一物质的特殊性质；第二，选择测温属性所对应的物理量与温度变化的关系不一定是线性的。虽然测温差异较小，实用上可忽略，但是温度在热力学理论中是一极为重要的概念，所以还是必须有一个统一的标准。



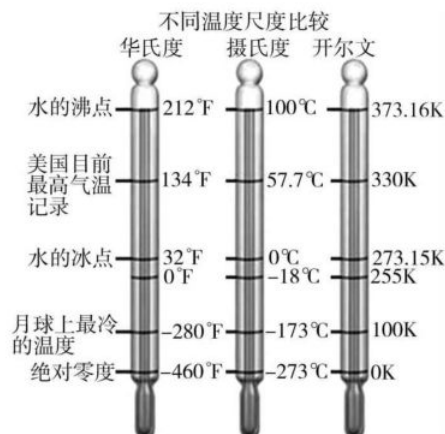
摄氏温度与华氏温度

## 3. 理想气体温标

在摄氏温标中，由于所选水的冰点和沸点两个固定点随压强变化而变化，因此，1954年国际上规定只用一个标准固定点来建立温标，即选取水的三相点（水蒸气、水和冰三相共存的温度点）作为固定点，并取水的三相点温度为273.16K。把理想气体作为测温物质，并选择其体积或压强为测温属性所对应的物理量制成的温度计被称为气体温度计。当气体温度计的测温泡内的气体极其稀薄时（气体压强趋于0），无论是定容还是定压变化，也无论泡中装的是什么气体，各种气体温标都趋于同一极限值，这个极限温标叫作理想气体温标。因理想气体温标不依赖任何一种气体的特性，故可把它作为标准温标。但上述温标还不一定是最好的，因为它仍然同所选测温物质——理想气体的共同属性有关，对极低温度（气体液化点以下）和高温就不适用，在这些温度范围内的气体已不是理想气体了。因此，理想气体温标的整个量度体系仍然建立在气体特性的基础上。是否可以建立一种完全不依赖任何测温物质及其物理属性的温标呢？

**资料：**理想气体温标——为了定量地进行温度的测量，必须确定温度的数值表示方法。温度的数值表示法叫温标，理想气体温标是一种有重要理论和实际意义的温标。下面介绍它的确定方法。波义耳定律指出：一定质量的气体，在一定温度下，其压强 $p$ 和体积 $V$ 的乘积是个常数，即： $pV=nRt$ （温度不变）。针对不同的温度，这一常数的数值不同。各种气体都近似地遵守这一定律，而且压强越小与此定律符合得也越好。为了表示气体的这种共性，我们引入理想气体的概念。理想气体就是在各

种压强下都严格遵守波义耳定律的气体，它是各种实际气体在压强趋于零时的极限情况，是一个理想模型。既然对一定质量的理想气体，它的  $pV$  乘积只决定于温度，我们就可以定义一个温标，叫理想气体温标，这一温标指示的温度值与该温度下一定质量的理想气体的  $pV$  乘积成正比，以  $T$  表示理想气体温标指示的温度值，则应有  $pV \propto T$ 。这一定义只能给出两个温度数值的比，为了确定某一温度的数值，还必须规定一个特定温度的数值。1954 年，国际上规定的标准温度点为水的三相，即水、冰和水蒸气共存而达到平衡态时的温度（这时，水蒸气的压强是 4.58mmHg，约 609Pa）。这个温度被称为水的三相点温度。若以  $T_1$  表示此温度，它的数值规定为 273.16K（式中，K 表示理想气体温标的温度单位），以  $p_1$  和  $V_1$  表示一定质量的理想气体在水的三相点温度下的压强和体积，以  $p$  和  $V$  表示该气体在任意温度  $T$  时的压强和体积，则  $\frac{T}{T_1} = \frac{pV}{p_1V_1}$ ，即  $T = T_1 \times \frac{pV}{p_1V_1} = 273.16 \times \frac{pV}{p_1V_1}$ 。所以，只要测定了某状态的压强和体积的值，就可以确定该状态相应的温度数值了。



#### 4. 热力学温标

英国物理学家开尔文在热力学第二定律（分子有规则运动的机械能可以完全转化为分子无规则运动的热能；热能却不能完全转化为机械能）的基础上建立的热力学温标，完全不依赖任何测温物质及其物理属性，而且有着根基牢固的理论基础，定义严谨。所以，国际上规定热力学温标为基本温标。虽然这一温标难以按其定义去实践，但可以证明，在理想气体温标所能确定的温度范围内，热力学温标与理想气体温标所确定的温度相等，从而使热力学温标通过理想气体温标而具有现实意义。后人为了纪念开尔文的贡献，把热力学温标又叫作开尔文温标，用 K 表示这种温标定出的温度单位（例如，水的三相点温度为  $0.01^\circ\text{C}$ ，热力学温度为 273.16K）。

**小贴士：** K 是现行 SI 单位制中的七个基本单位之一。1960 年，国际计量大会对摄氏温标作了新定义，规定它由热力学温标导出，两者关系为  $T = t_c + 273.15$ 。

## 现代温度计

在现代化生产和科研中，常需要测量高热极冷的温度，也需要精度非常高的温度计。所以，随着科学技术的发展，科技工作者又制造出了各种性能良好的温度计。

### 1. 红外温度计

一切温度高于绝对零度的物体都在不停地向周围空间发出红外辐射。物体的红外辐射能量的大小及其按波长的分布与它的表面温度有十分密切的关系。因此，通





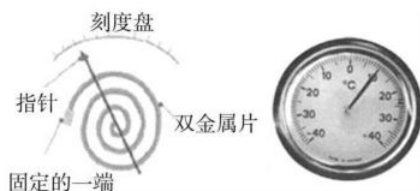
通过对物体辐射红外能量的测量，便能准确地测定其表面温度，这就是红外辐射测温所依据的物理原理。如电子温度计，通过红外线，两秒即可测出体温，适合婴孩和儿童使用。

## 2. 半导体温度计

半导体的电阻变化规律和金属不同，温度升高时，其电阻反而减小，且变化幅度较大。因此，小范围的温度变化也可使其电阻产生明显变化。据上述规律所制成的半导体温度计有较高的精密度，常被称为感温器。

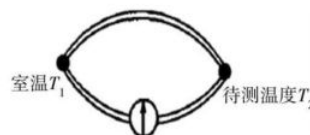
## 3. 转动式温度计

转动式温度计由一卷曲的双金属片制成，双金属片一端固定、另一端连接指针。因两金属片的膨胀性能不同，在不同温度下，双金属片的卷曲程度不同，指针则随之指在刻度盘上的不同位置，从刻度盘读数便可知其温度。



## 4. 热电偶温度计

热电偶温度计由两条不同金属连接一个灵敏电计组成，金属接点在不同温度下会在金属两端产生不同的电势差。因电势差非常微小，故需灵敏电压计才能测得；再由电压计读数即可知道所测温度。有的温差电偶能测量高达 3000℃ 的高温，有的能测接近绝对零度的低温。



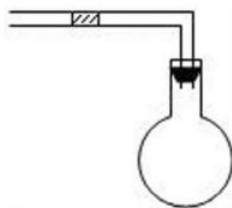
## 5. 光测高温计

物体温度若升高到会发出大量可见光的程度，便可利用热辐射亮度和温度的关系来测量高温，这种温度计即光测温度计。光测温度计主要由装有红色滤光镜的望远镜及一组带有小灯泡、电流计与可变电阻的电路制成。测温前，应先建立灯丝不同亮度所对应温度与电流计读数的关系；测温时，将望远镜对准待测物，调整电阻，使灯泡亮度与待测物亮度相同，这时从电流计便可读出待测物的温度。因为测温时不需将仪器与被测物接触，因此，光测温度计可用来测量金属熔点以上的温度。



### 拓展与思考

小明同学仿照实验室使用的液体温度计的原理，设计了一个简易的气体温度计，如图所示，瓶中装的是气体，瓶塞密封不漏气，瓶塞上面细弯管中有一段液柱。该温度计的零刻度应如何标注？这种温度计在使用过程中有何不足？为提高这一温度计测量过程中的精确度，可在哪些方面做改进？



## 2 指南针

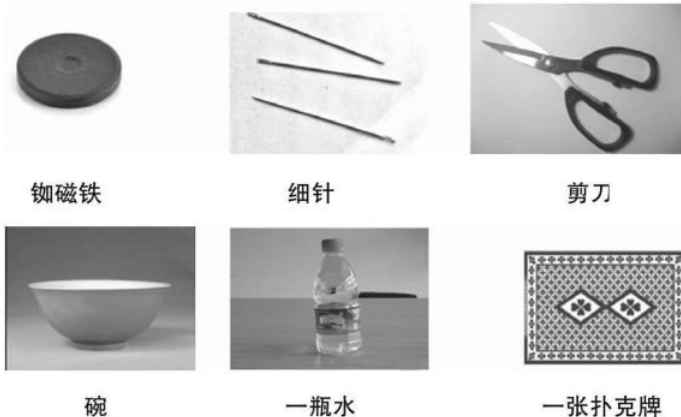
指南针，古代叫司南，主要组成部分是一根装在轴上的磁针，磁针在天然磁场的作用下可以自由转动并保持在磁子午线的切线方向上，磁针的北极指向地理的南极，利用这一性质可以辨别方向。作为中国古代四大发明之一，它的发明对人类的科学技术和文明的发展起了无可估量的作用，常用于航海、大地测量、旅行及军事等方面。



### 活动：自制指南针

指南针能够指示方向，帮助我们在迷失方向的时候找到出路。人类运用指南针的历史已有上千年了。其实，指南针的工作原理也是相当简单的，现在就让我们来亲手制作一个简易的指南针吧！

#### 活动清单





直尺



圆规



指南针



### 活动步骤

1. 用直尺量出细针的长度，以此长度的一半为半径，用圆规在扑克牌上画出一个圆。
2. 用剪刀把扑克牌上的圆剪下。
3. 细针的摩擦（慢工出细活！小心！别扎手！）
  - (1) 如果磁铁是条形磁铁，则用针的粗头在磁铁的一端摩擦 50 下，用针的细头在磁铁的另一端也摩擦 50 下（注意摩擦保持在同一个方向）。
  - (2) 如果磁铁是圆饼形磁铁，则用针的粗头在磁铁的一面摩擦 50 下，用针的细头在磁铁的另一面也摩擦 50 下（注意摩擦保持在同一个方向）。
4. 将水倒入碗中，把剪好的圆形扑克牌轻轻放在水面上。
5. 把摩擦好的细针轻轻放在扑克牌上，试着转动扑克牌。当碗里的扑克牌静止后，用“指南针”看看扑克牌上的针的两端分别指向哪个方向，并将结果记录到“表 1”中。

表 1 摩擦后的细针两端指示方向记录表

转动扑克牌	针细端方向	针粗端方向	思考与讨论
1			
2			
3			
4			



### 活动总结

经过多次实验，我们发现\_\_\_\_\_。

## 指南针的发展历程

### 1. 指南针产生背景

地球是一个大磁体。地球的两极分别在接近地理南极和地理北极的地方。地球表面的磁体，当可以自由转动时，就会因磁体同性相斥、异性相吸的性质指示南北。这个道理，古人不够明白；但这类

现象，古人已经发现。

## 2. 磁现象的发现历史

**先秦时代：**中国劳动人民已经积累了对磁现象的认识，在探寻铁矿的时候，常常遇到磁铁矿，即磁石（主要成分是四氧化三铁，化学式  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ，别名氧化铁、黑磁铁、吸铁石，为具有磁性的黑色晶体，故又称为磁性氧化铁）。《管子·地数篇》中早已记载了这些发现：“山上有磁石者，其下有金铜。”《山海经》中也有类似的记载。

磁石的吸铁特性很早被人发现，《吕氏春秋》九卷精通篇就有：“慈招铁，或引之也。”古人称“磁”为“慈”，把磁石吸引铁看作慈母对子女的吸引，并认为：“石是铁的母亲，但石有慈和不慈两种，慈爱的石头能吸引他的子女，不慈的石头就不能吸引了。”

**西汉：**有一个名叫栾大的方士，他利用磁石的特性做了两个棋子样的东西，通过调整两个棋子极性的相互位置，有时两个棋子相互吸引，有时相互排斥。栾大称其为“斗棋”。他把这个新奇的玩意献给汉武帝，并当场演示。汉武帝惊奇不已，龙心大悦，竟封栾大为“五利将军”。

## 3. 磁化技术的记载

**北宋（磁化技术取得突破）：**曾公亮的《武经总要》中提到一种新型的磁性指向器——“指南鱼”，同时还能看到，制作指南鱼的关键是铁的磁化。曾公亮实际上是利用地磁场对剪成鱼形的铁片进行磁化，这是历史上人类寻求新的磁化技术上的一个突破。但是，由于使用时要放在水面，铁片要尽量“薄”。

同样具有实用性的磁化技术，与曾公亮同时代的沈括在《梦溪笔谈》中也有记载。他写道：“方家以磁石磨针锋，则能指南，然常微偏东，不全南也。”（卷 24）这种形制易流行且简单，磁化效果也相当好，特别是它对指向器形制的改进产生了另一个突破——针状。用针指向，它的指向精度可以得到极大的提高。这样，司南就衍变成了指南针，而且这种指南针也更容易普及了。无疑，这是磁性指向器形制的最重要的改进。

## 4. 磁偏现象的记载

由于指针指向精度得以提高，人们在使用指南针时很快就注意到，它所指的方向有时并非正南，就如沈括在《梦溪笔谈》中说的“然常微偏东，不全南也”，这就是磁偏现象。

北宋司天监杨惟德于庆历元年（1041 年）奉命编撰的相墓大全《莹原总录》卷一为磁偏角的发现奠定了基础。书中说：“客主的取，宜匡四正以无差，当取丙午针于其正处中而格之，取方直之正也。”这里明确地记载了“丙午针”，即后世沈括在《梦溪笔谈》卷二十四中所说的磁针“常微偏东，不全南也”。

在西方，直到 13 世纪才知道磁针偏南。1429 年，哥伦布横渡大西洋时，正式测到磁偏角现象。

## 5. 磁偏现象的发现历史

**杨惟德：**比沈括稍早些的杨惟德在写于庆历元年（1041 年）的《莹原总录》中已经有了磁偏角的



相关记载。他写道：“匡四正以无差，当取丙午针于其正处中而格之，取方直之正也。”（卷1）这里说的“针”就是磁针，而“丙午针”是指磁针在静止时，针指的方位是24个方位中丙位和午位的结合部，也就是南偏东约7.5°。这与沈括的“微偏东”是一致的，但杨惟德的说法更早，描述也更精确些。

**王假：**与沈括大致同时代的王假（福建堪輿学派的创立者）也提到过磁偏角。在王仅有的一首诗中，他写道：“虚危之间针路明，南三张度上三乘。”这里的前一句所提到的显然是天体坐标的南北向，但通过观察地磁罗盘会发现，南方星宿“张”的范围是如此之广，以至于两个磁偏角及天体坐标的正南这3个“南方”方位均包含在其内。所以，他对磁偏角的涉及，具体数值还不能完全确定，但它对地磁偏现象的记载，说明了风水师是重视地磁偏现象的研究的。

**寇宗奭：**稍晚于沈括的寇宗奭在所著的《本草衍义》中也提到：“磁石磨针锋则能指南，然常偏东，不全南也。其法取新纆中独缕，以半芥子许蜡缀于针腰，无风处垂之，则针常指南。然常偏丙位，盖丙为大火，庚辛金受其制，故如是，物理相感尔。”（卷5）这段话讲到指南针的磁化，讲到磁偏现象的发现，还讲到指南针的架设问题，以及利用五行学说简要地解释磁针指向的原因。

**曾三异：**宋代曾三异在1189年写的《因话录》提到，在地球表面上一定有某个区域，在那里磁偏角为零。曾三异的观点很有见地，事实上也确实存在着零磁偏角线。但即便如此，他也只是提出了一种有价值的猜测。

16世纪：明代人进一步发现了在不同的地点磁偏角的大小也不同的结论。

18世纪：出现关于磁偏角的大小也随时间的变化而变化的明确记载。

## 6. 指南针的早期形制

中国古代的方位文化共经历三个阶段。

第一阶段：依靠天文学方法定位。

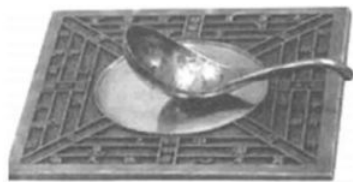
第二阶段：以磁学方法制成司南。

磁体定向装置的出现，使古人从靠观察天体定向的被动性转向靠地磁定向的主动性。人类最早的磁体定向装置，是以天然条状磁石制成的司南，它出现在中国战国末期（公元前3世纪）而在汉代得到进一步的发展。

**司南（最早的磁性指向器）：**“司南”之称，始于战国（前475—前221），终止于唐代（618—907）。司南古义的不断演化，使它与一系列的古代发明结下了不解之缘。

记载司南的最早文献是《鬼谷子》，其中写道：“郑人之取玉也，必载司南之车，为其不惑也。”（谋篇）

在提到司南的文献中，王充的记述是最重要的，他明确指出：“司南之杓，投之于地，其柢指南。”（是应篇）其中的“杓”是指磁勺（磁勺是一种天然磁石琢成的勺形指向器，当它被发现的时候，其状取法北斗七星）。其中的“地”是指古代械盘中的“地盘”（械盘是秦汉时期发明的，用于游戏或占卜）。在“地盘”的四周刻有24个方位，中心刻有象征北斗七星的标志。



司南模型（王振铎复原）

中国现代著名的科技史家和文物复制专家王振铎曾依据这些记载成功地复原了汉代的司南（如上图所示）。

虽然勺形司南尚无实物出土，但汉代画像石上有类似勺形司南形象的画面（如下图所示，本图引自李约瑟《中国科学技术史·物理学卷》），这表明王充的记载应该是可信的。在这幅石像中，可看到，画面主体是魔术师和杂技演员在表演，上面一行人是贵族观众，右上角的小方台上放着一个疑似司南的长柄匙（见画面外小插图），一个人在跪着观察它。

从所留下的材料看，利用磁石指极性的司南就是磁性指向器具有的最早形制。

第三阶段：由司南演变成指南针，随后带动测定方位技术的不断完善。

指南针应当是在一个很漫长的时间中慢慢改进的结果，而不同时期的形式应以不同的形式出现。

**唐代（形状各异的指南针）：**唐代堪舆家的活动相当活跃，并开始强调方向的选择，寻找比磁勺更方便的指向器成了当务之急。于是，指南铁鱼或者蝌蚪形铁质指向器及水浮磁针应运而生。



藏于苏黎世里特堡  
博物馆的汉代石浮雕

## 7. 指南鱼、水浮磁针制备方法

指南鱼的制备方法，见于北宋曾公亮等利用前人资料编撰的《武经总要》。《武经总要》前集卷十五载其法曰：“用薄铁叶剪裁，长二寸，阔五分，首尾锐如鱼形，置炭火中烧之，候通赤，以铁铃铃鱼首出火，以尾正对子位，蘸水盆中，没尾数分则止，以密器收之。”这种方法利用地磁场使铁片磁化，并知道鱼形铁片微向下倾斜对磁化有利，实际上已发现近代科学中所谓的磁倾角的影响。使用时，指南鱼浮于水面，与水浮磁针的原理是一致的。但是指南鱼的磁性是很弱的，作为一种“天然的”缺陷，圆形的鱼首也使它的指向精度受到限制。虽然这种简易的磁化技术使指南鱼的制作容易了许多，但它的形状造成与勺形司南有类似的缺陷。

水浮磁针的制作方法，首见于北宋沈括的《梦溪笔谈》卷二十四，其文曰：“方家以磁石磨针锋，则能指南。”这种方家在实践中总结出来的钢针磁化法，经过沈括之手公布于世，有力地促进了磁针在堪舆和航海两大领域中的应用和普及。指南针进入实用磁针的阶段，对装置方法的研究提到了议事日程。沈括全面研究和比较了“水浮”法、置“指爪”法、置“碗唇”法及“缕悬”法的优缺点，认为“缕悬”法最佳。“其法取新纩中独茧缕，以芥子许蜡，缀于针腰，无风处悬之，则针常指南。”现代磁强计中悬挂的小磁铁，就采用了此相似的方法。磁针指的精度，与司南及指南鱼不可同日而语。

由于堪舆术的神秘性，中国唐宋堪舆著作在流传中又相互影响，有所增删，要从众多早期堪舆著作中理出磁针、磁偏角以至罗盘的发明、发现年代，诚非易事。

**元代（水浮法指南针瓷碗）：**1959年，在辽宁旅顺甘井子元代墓葬中出土了两件磁州窑白釉褐花大碗，大碗内底部彩绘两个同心圆，圆内绘并排的三点，中间一线相连。乍看此图形似一个不规则的“王”字，故被称为“王字纹碗”。碗外底圈足内又墨书一个“针”字。经科技史学家王振铎先生研究



证实，这种碗就是航海时指示方向所用的针碗。它的使用方法是这样的：针碗的水面上漂着穿在浮漂上的磁针，碗内底的“王”字形标志则有助于标明方向。先将“王”字中的细道与船身中心线对直，如船身转向，磁针便和该细线形成夹角，从而显示航向转移的角度。类似的碗在江苏丹徒照临村元代窖藏和河北省磁县漳河故道元代沉船内都有发现。

**罗盘的发明与西传：**磁针问世后，先后用于堪舆和航海。为了使用方便，读数容易，加上磁偏角的发现，对指南针的使用技巧提出了更高的要求，方家首先将磁针与分度盘相配合，创制了新一代指南针——罗盘。

罗盘（如右图）古称“地螺”“地罗”。南宋曾三聘的《因话录》“子午针”条说：“地螺，或有子午正针，或用子壬丙午间缝针。”离峡江不远的江西临川，于1985年出土了世界上最早的堪舆早罗盘模型，正可与《因话录》的记载相互印证。1985年5月，江西临川南宋朱济南墓（葬于1198年）出土了座底墨书“张仙人”的瓷俑一式两件。风水先生“张仙人”俑，左手抱一罗盘。值得注意的是，该罗盘的磁针与水罗盘的磁针根本不同，中部增大呈菱形，菱形中央有一明显圆孔，明确地表示这是一种用轴支承的早罗盘。早罗盘后来经阿拉伯传入欧洲，在欧洲发展成熟起来。欧洲人又进一步对这种早罗盘做了改进，使用起来很是方便。这种改进虽然对磁的知识并未增加，甚至也未“改善”，但是却对航海事业产生了积极影响。



罗盘

中国的磁针和罗盘先后经由陆水两路西传，曾给人类文明的进程带来重大的影响。以前史学界认为，磁针在水中的水罗盘与指南针一脉相承，是中国的发明，但早罗盘是欧洲所发明，16世纪才经由日本船传入中国。而今临川罗盘证明：早罗盘的发明权也属于中国。

## 8. 现代的指南针：电子罗盘

电子罗盘（如右图）也叫数字罗盘，是利用地磁场来定北极的一种仪器，应用到手机上，其实就是电子指南针。电子罗盘一般用磁阻传感器和磁通门加工而成。



电子罗盘

GPS虽然在导航、定位、测速、定向方面有着广泛的应用，但由于其信号常被地形、地物遮挡，导致精度大大降低，甚至不能使用。尤其在高楼林立城区和植被茂密的林区，GPS信号的有效性仅为60%。并且在静止的情况下，GPS也无法给出航向信息。为弥补这一不足，可以采用组合导航定向的方法。

电子罗盘正是为满足用户的此类需求而设计的。它可以对GPS信号进行有效补偿，保证导航定向信息100%有效，即使是在GPS信号失锁后也能正常工作，做到“丢星不丢向”。

电子罗盘可以分为平面电子罗盘和三维电子罗盘。平面电子罗盘要求用户在使用时必须保持罗盘的水平，因为罗盘在发生倾斜时也会给出航向的变化而实际上航向并没有变化。虽然平面电子罗盘对使用方法的要求很高，但如果能保证罗盘所附载体始终水平的话，平面罗盘是一种性价比很好的选择。三维电子罗盘克服了平面电子罗盘在使用中的严格限制，因为三维电子罗盘在其内部加入了倾角传感器，在罗盘发生倾斜时可以对罗盘进行倾斜补偿。这样，即使罗盘发生倾斜，航向数据依然准确无误。有时为了克服温度漂移，罗盘也可内置温度补偿，最大限度减少倾斜角和指向角的温度漂移。

**电子罗盘原理：**三维电子罗盘由三维磁阻传感器、双轴倾角传感器和 MCU 构成。三维磁阻传感器用来测量地球磁场；倾角传感器是在磁力仪非水平状态时进行补偿；MCU 处理磁力仪和倾角传感器的信号以及数据输出和软铁、硬铁补偿。该磁力仪采用三个互相垂直的磁阻传感器，每个轴向上的传感器检测在该方向上的地磁场强度。



### 拓展与思考

指南针的发明对世界的发展有什么贡献？