

绪 论

把科学与技术发展的历史作为一门科学来进行研究，即使是最保守的估计，也应该从 1882 年计起。正是这一年，由法国政府任命拉菲特为科学史教授，并由他出面组织了一个科学史的研究机构。许多科学技术发展史方面的专家都认为，这一年应为世界上系统研究科学技术史的开端。但是直到 19 世纪末期，科学史工作者的主要使命仍然是沿袭自 1543 年以来的科学工作者所遵循的最基本的研究模式——搜集资料 and 整理资料。他们忠实地摹印下了漫漫 3000 年的科学技术发展的足迹，而极少去注意科学技术的内涵。进入 20 世纪以后，科学技术史的专家们才开始重视科学技术的元问题，比如什么是科学，什么是技术，科学和技术是如何产生和发展的等等。大家已经意识到，如果不能正确地认识科学与技术，不能客观地把握科学技术的发展，研究科学技术的历史就失去了根据。这些问题过去重要，今天依然重要。

第一节 科学及其发展模式

科学对于生活在 21 世纪的人们来说，绝对不是一个陌生的字眼。人们之所以如此熟悉科学，不仅是因为科学已广泛地渗透到我们的生活之中，影响到我们的衣食住行，更因为科学已经深刻地影响到了整个人类社会的发展，它甚至已经成为了我们的世界观的一个重要组成部分。如果说，1872 年当马克思在《共产党宣言》中惊叹由于工业革命的到来，而使得大量的人口和巨大的生产力仿佛被法术从地下将其唤出的话，那么生活在今天的人们将会更加真切地感受到科学的神奇力量。不管我们把科学看做可以带来幸福和欢乐的天使，还是看做悬在人们头上的达摩克利斯剑，科学已经彻底改变了人类的生存方式并将继续深刻地影响着人类，这已是不争的事实。然而，当我们认真地询问大家究竟什么是科学的话，也许很多人会突然感到困惑，会突然发现，原来如此熟悉的概念，蓦然间变得有些恍惚，一时竟然无法讲得清楚。那么，究竟什么是科学呢？

一、科学的定义

非常遗憾，关于科学的定义，目前乃至将来，都注定是一个很难取得一致意见的问题。为什么呢？英国著名的科学社会学家贝尔纳 (J. D. Bernal, 1901 ~ 1971) 在《历史上的科学》一书中有一段非常好的阐述，他认为之所以很难为科学下一个准确的定义是因为：“科学的形象是多方面的。它可以作为一种建制，一种方法，一种积累的知识传统，一种维持或发展生产的主要因素，一种构成我们诸信仰和对宇宙和人类诸态度的最强大的势

力。”^①因此，用我们传统定义的方法就变得异常困难。恩格斯从唯物辩证法的独特视角出发，则对难以定义有另一番见解。他认为：“定义对于科学来说是没有价值的，因为它们总是不充分的。惟一真实的定义是事物本身的发展，而这已不再是定义了。”

当然，为了研究问题的方便，给我们所研究的对象下定义的方法在理论界仍普遍采用。正如恩格斯所说：“对日常的运用来说，在所谓的定义中对最一般的同时也是最有特色的性质所作的简短解释，常常是有用的，甚至是必要的，只要不要求它表达比它所能表达的更多的东西，它也无能为害。”^③就我们所知道的，目前理论界为科学所下的定义至少有十几种之多，但大致归纳一下，无非是两类定义。

其一，将科学作为人们探索自然的现象、性质及其规律性的认识活动，这是一种从动态的、变化的角度来考察科学的观点，历史上称之为科学活动论的观点。其二，将科学作为一种累积而存在的知识体系，是一种既成的东西，是人类进行科学活动的成果，这是一种从静态的角度来考察科学的观点，历史上称之为科学成果论的观点。这两种观念各执一端，都有偏颇之嫌。如何全面、科学地认识科学，是理论界未来仍需认真研究的课题。

二、科学发展的模式

自然科学在历史上是怎么发展的，科学家的思想方法是如何产生的，科学的成果是如何形成的，这些都是自然科学概论中希望解决的重要理论问题。按照不同的科学发展模式理论，会有对科学发展的不同描述和理解。因此，我们非常有必要了解一下历史上关于科学发展模式问题的主要观点。国外关于科学发展模式的主要观点大体上有三种：

1. 归纳主义的观点

这是一种传统的、经典的观点，代表人物是宣传“知识就是力量”的培根（F. Bacon, 1561~1626）。归纳主义的基本观点有：

A) 科学的基础是经验

科学来源于经验，经验是全部科学的基础。科学理论是在观察和实验中得来的经验事实的基础上建立起来的，是已经被证实了的的知识。

B) 科学的方法是归纳

从经验事实上升到科学理论靠的是归纳，归纳法是最主要也是最可靠的科学方法。科学发展靠归纳，科学论证靠归纳，科学理论不过是对观察和实验中得来的事实材料进行归纳的结果。用培根的话说，只要“及时采集无数成熟的葡萄”，“科学的酒浆”就会源源而来。

C) 科学的历史是累进

科学的发展是积累渐进。科学知识对于人类来说，就像货栈里堆放的货物一样，随着时间的推移，人类获得的经验事实越多，人类知识宝库中堆放的“货物”就越多，如此递进，永无止境。

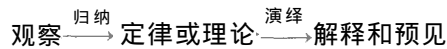
D) 科学的发展模式是直线

在归纳主义者看来，作为科学成果的定律或理论，可以直接从归纳中得出，而通过归纳总结出来的理论又可以通过演绎去解释已经发生的科学事实和预见尚未发生的科学现象。

贝尔纳. 历史上的科学. 北京：科学出版社，1983. 序

③ 马克思恩格斯全集. 20卷. 北京：人民出版社，1971. 667页

它们之间的关系是线性的，如下图所示：



归纳论的观点，在 1543 年科学革命之后，直到 19 世纪中叶之前，在科学史上曾经起过极大的思想解放的作用，在反对中世纪宗教神学和经院哲学的斗争中有很大的历史功绩。它强调科学理论要建立在实践经验的基础之上，要从思辨的王国回到人世间来，其作用是积极的、进步的。同时，由于这种观点同人们的日常经验相符合，与近代自然科学发展初期的水平相适应，因此，在相当长一段时期内，它作为一种常识被大多数科学家所接受。但“常识”的东西是正确的吗？德国著名的哲学家黑格尔曾经有过一段精辟的论述。他在《小逻辑》这本书里就认为，人的常识是某一时代的这样一种思想方式，在它里面包含着那个时代的一切偏见。列宁在《哲学笔记》中引用这段话时加了一个批语：“常识 = 当时的偏见。”归纳主义的偏见就在于它片面夸大经验的作用，轻视理性思维；片面夸大归纳的作用，轻视演绎的方法；片面夸大渐进积累，忽视了科学的革命。

这种归纳主义的科学史观，有它产生的历史原因，爱因斯坦认为这是科学幼年时期“原始”状态下很容易产生的一种幻觉。自文艺复兴以来直到 19 世纪的三四百年间，自然科学主要处于收集材料、积累材料、归纳整理材料的阶段，这就容易使人产生幻觉，似乎科学理论仅仅是经验的归纳，而看不到超越经验的理性创造活动。

随着科学的发展，特别是进入 20 世纪以来，人们对归纳主义产生了越来越多的怀疑，这种怀疑主要集中在两点：

第一，科学是始于观察吗？人们发现并非如此。

首先，观察总是依赖于观察者过去的知识、经验和文化。著名科学哲学家查尔默斯（A. F. Chalmers）曾经在其名著《科学究竟是什么》一书中指出：“视觉经验不决定于视网膜上的映像。”美国著名的科学哲学家汉森也曾写过一篇著名论文《观察渗透理论》详细地分析了这种现象。

其次，观察总是有目的、有意识的观察，盲目的、无意识的观察是不能引发科学的。弗莱明（A. Fleming, 1881 ~ 1955）1929 年 6 月发现青霉素，并因此获得 1945 年诺贝尔奖。其实在此之前，日本细菌学家古在由直也发现了这种青霉菌，而他只是作为生物实验器皿被污染而放弃研究。直到弗莱明宣布成果之后，他才懊悔不已。德国物理学家伦琴（Röntgen, 1845 ~ 1923）1896 年发现 X 射线并拍下第一张 X 光照片，并由此荣获第一届诺贝尔物理学奖。而早在 6 年前，宾夕法尼亚大学的物理学家克鲁克斯（W. Crookes, 1832 ~ 1919）就无意中拍下过一张类似的阴极射线照片，而他只是觉得很有趣，把它压在桌子上。直到伦琴的结果宣布后，他才明白自己与一项伟大的发现失之交臂。这些都说明，无目的的观察不能形成科学。

第二，归纳得出的科学知识不能保证可靠，归纳原则本身是不能证明的。不仅经验上得不到证明，逻辑上也得不到证明。从经验上讲，所有的归纳都是一种不完全归纳，而不完全归纳是不能得出全称陈述的。英国著名科学哲学家波普尔（Popper, 1902 ~ ）曾经举过这样一个例子。他说：欧洲人在很长一个时期观察到的天鹅都是白的，于是他们归纳出“凡是

① A. F. 查尔默斯. 科学究竟是什么. 北京：商务印书馆, 1982. 32 页

天鹅都是白的”。这也许是经过无数次归纳才得出的全称陈述，但后来澳大利亚发现黑天鹅，归纳结果就归于错误。

面对波普尔的质疑，归纳论者也曾作出了让步。比如，逻辑实证主义者赖欣巴哈在《科学哲学的兴起》一书中就坦然承认，归纳法的确不能推知未来知识的必然性。但他同时又进一步辩解，归纳虽然不能得出必然真理，但可以得出或然真理，而且随着观察数目的增多，或然率必然增大。比如，我们每天都观察到“太阳从东方升起”，归纳虽然不能保证明天太阳一定从东方升起，但却可以得出“太阳从东方升起”的概率是大的。所以，他把归纳推理解释为“概率推理”。但波普尔并没有轻易放过归纳主义，他毫不客气地指出，归纳既不能获得必然真理，也不能获得或然真理。在他看来，以观察到的有限的经验事实和未来可能发生的无穷多的现象相比，正确的概率为零。尽管波普尔的零概率理论后来被证明是存在很多问题的，但在当时却粉碎了归纳主义者的梦想。

面对归纳主义面临的重重矛盾，波普尔提出了自己证伪主义的崭新见解。

2. 证伪主义的观点

证伪主义是一种典型的反归纳主义的观点，代表人物是英国著名科学哲学家波普尔。证伪主义一反传统教义，整个理论给人以清新的感觉。它的基本观点是：

A) 科学开始于问题

科学不仅开始于问题，而且只能开始于科学的问题。在波普尔看来：第一，问题促使理论的产生；第二，问题促进科学的发展。波普尔正确指出了问题产生有各种类型，有的产生于一个理论内部，有的产生于两种不同理论之间，有的产生于问题与观察的冲突之中。波普尔明确地把“问题”解释为矛盾，并认为矛盾是科学发展的动力。这种观点对于马克思主义认识论而言，当然毫无新奇之处，但出自一位西方哲学家之口，是十分难能可贵的。

B) 理论是大胆的猜测

波普尔认为，科学知识具有普遍性和无限性，而人不可能终极地掌握这种无限的知识，因此，科学只能是“理智的猜测”，而这种猜测随时有可能被否定。

C) 科学方法是试错

波普尔认为，科学家为了解决问题，必须设想出各种试探性理论来进行试错。波普尔试错法的与众不同之处在于，他认为实验的目的不是为了证明一个理论的正确，而是为了证伪除错，通过对理论的反驳、对推测的否定来发展科学。他主张通过错误学习，通过证伪进步，通过发现错误找出好理论，推动科学前进。

D) 科学划界的证伪原则

证伪原则包括两个：一个是经验证伪原则。波普尔认为科学理论或命题，不可能被经验所证实，只能被经验所证伪。第二个是科学的划界标准。波普尔认为科学之所以成其为科学，不在于科学的可证实性，而在于可证伪性。不能被证伪的科学不是真正的科学，而是伪科学。科学只有在不断地被证伪中才能前进、发展。

E) 科学发现的模式

$$P_1 \rightarrow TT \rightarrow EE \rightarrow P_2$$

即：问题 → 假设 → 证伪 → 新问题

波普尔认为，一切科学理论都是有待证伪的推测性假说，真理只能追求，永远不能占有。

证伪主义的出现是与 19 世纪末至 20 世纪初物理学革命以来的现代自然科学发展状况

相适应的，它的特点是反对经验主义，提倡理论思维和革命批判精神。但他在大胆批判的同时却从一个极端走到了另一个极端——轻视经验反对归纳，尤其是他的“一次证伪”的做法过于绝对，不符合科学家科学实践的实际。历史上从来没有哪一个大科学家，在建立一个理论时，遇到一个反例就轻易放弃研究。恰恰相反，他们总是耐心地研究产生反例的原因，不屈不挠地探寻真理。

针对波普尔证伪主义的缺陷，波普尔的学生、匈牙利出生的英国哲学家拉卡托斯提出了精致证伪主义，主张科学理论是一个有结构的科学研究纲领。这种理论的基本思想和波普尔是一致的。

3. 历史学派的观点

归纳定义的科学发展观认为，科学知识是一个直线式的、累积的过程；证伪主义发展观则强调科学发展不是简单的知识积累，而是科学理论的更替，是一个旧理论不断被推翻、新理论不断取而代之的过程。库恩从科学史的研究出发，认为两种发展观都不符合科学发展的实际过程，他们分别从静态和动态的角度各执一端。为了克服这两种发展观的片面性，库恩提出了自己对科学发展的新看法：

A) 科学与非科学的分界

库恩认为，区分科学与非科学的标准，与其说是可检验性，还不如说是解决疑难的活动。按照库恩的观点，由幼稚的原始科学向成熟科学的转变，同时也就由批评议论方式向解决疑难方式的转变。一个领域一旦形成具备一定基础的理论或好的理论，持续批评和理论繁殖的时期就过去了，科学家不再像原始科学的从业者那样专去寻找理论的弱点，而是力图在弱点周围建立其他的理论。库恩反对用可证伪性或可检验性作为区分科学与非科学（包括哲学、艺术等）的标准（比如占星术也是可检验的），而解决疑难的标准不存在把占星术也可以归之于科学之类的困难和问题。

B) 科学发展的模式

在库恩看来，科学发展的模式就是由一个常规科学传统转变到另一个常规科学传统。常规科学传统由一个公认的理论决定，这个理论包含着研究方法和技术，它指定什么疑难问题要加以研究，并且什么样的解决是可以接受的，库恩把这样的理论叫做范式。范式就是一个学派所接受的科学理论。库恩认为，科学的发展要经过如下几个环节：

原始科学 → 常规科学 → 科学革命 → 新的常规科学

库恩对这几个环节的解释是：原始科学时期是各学派互相争论、批评议论的时期。常规科学则是由于某一显著的科学成就而形成的解决疑难的传统，如 17 世纪的经典力学，20 世纪的相对论、量子力学等。常规科学的出现，目的就是阐明和发展一个范式，而范式此时就成为一个科学家集团的共同信念。科学革命时期则是一个范式不再充分地支持一个解决疑难的传统，批评议论代替解决疑难再次成为研究中的正常方式。而新的常规科学时期则是危机已经过去，新的范式普遍被接受，批评议论又让位于疑难问题的解决。周而复始，科学不断向前发展。

综观以上三种不同观点，我们认为：归纳主义者重视经验，重视事实，从本质上讲是属于唯物主义的观点。这种从事实出发，把科学建立在观察的基础上的做法并没有错。归纳主义者的错误在于他们过分地强调了归纳的作用，忽视了演绎的理性力量。波普尔虽然正确指出归纳主义者问题之所在，但他却错误地将归纳和演绎分离，忽视了归纳法是从个别中归

纳出一般，他没有认识到个别与一般是辩证的统一，他不懂得一般寓于个别之中，个别中存在于一般。正如恩格斯所说：“归纳和演绎正如分析和综合一样是必然相互联系着的，不应当牺牲一个而把另一个捧到天上，应当把每一个都用到应该用的地方。”

历史主义学派和归纳主义、经验批判主义的最大区别是，他一改过去从逻辑的角度、静态地研究科学发展的传统，从动态的、历史的角度来考察科学。因此，历史主义学派所提出的科学发展的模式，最接近于科学发展的实际。

第二节 技术及其发展模式

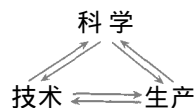
科学和技术是人们认识自然和改造自然过程中密切相关的两个不同领域。科学反映的是人们对自然界的认识，通常以知识形态表现出来。技术反映的是人们对自然界的改造，通常以物质形态表现出来。科学从其职能来讲，解决的是自然界中的“是什么”和“为什么”，而技术则解决的是“做什么”和“怎么做”。科学提供物化的可能，技术提供物化的现实。科学是发现，技术是发明。由此看来，似乎技术是相当清楚的一个概念。然而，当我们真的认真去探究什么是技术的时候，又突然发现，我们对技术的认识并不十分清楚。究竟什么是技术呢？

一、技术的含义

关于技术的含义，不同的人，从不同的角度出发，有着不尽相同的认识。早在古希腊时期，著名先哲亚里士多德就对技术有过专门论述，他把技术看做是“制作的智慧”。17世纪培根也提出要把技术作为可操作性学问来研究。到了18世纪末，法国著名的唯物主义哲学家狄德罗在他主编的《百科全书》条目中开始列入“技术”的条目。他认为技术是为了同一目标而共同协作完成的各种工具和规则的体系。狄德罗的这一定义包括两个方面的内容：其一，技术是物质形态的东西，通常是和工具相联系的；其二，技术是关于规则的“体系”。这就意味着，孤立的操作技能尚不足以称为技术。所谓技术，是指为完成某项改造自然的任务而设计的一整套的技能系统，即所谓“规则的体系”。技术是经验、方法和技能的综合。

狄德罗的这一观点，基本上反映了19世纪中叶之前人们关于什么是技术的理解。由于从16世纪以来，科学一直处于搜集材料阶段，科学对技术的前导作用尚不明显，人们普遍认为，技术来源于生产实践和科学实验。生产实践产生生产技术，科学实验产生实验技术，技术就是经验和技能的总结和系统化。

19世纪中叶之后，随着自然科学的迅猛发展，科学已开始从搜集材料进入整理材料的阶段，科学对技术的指导作用开始显现。就科学、技术、生产三者关系而言，长期以来所表现出来的“生产→技术→科学”的单一发展模式被打破，又出现了“科学→技术→生产”的发展模式。进入20世纪以来，更出现了下述的互动模式：



以上模式表明，人们从观念上已经开始有所转变，即从传统的认为技术来源于生产是技

术的集合的观念，转变为科学理论的应用同样可以产生技术的新观念。对此，邓小平同志也有精辟的论述，邓小平同志正确指出：“大量的历史事实已经说明：理论研究一旦获得重大突破，迟早会给生产和技术带来极其巨大的进步。”^①正是这种新观念的产生，激发了人们对技术的新的思考，人们开始认识到了技术的多元性，开始从技术的来源、目的性和功能的不同角度出发去反思技术，从而提出了现代意义上的技术定义。但我们认为，正如作为概念层次的“科学”无法确定一样，作为概论层次的“技术”，同样无法确定。技术的发展与关于技术的认识本身就是一个动态的过程，这个过程是一个永无止境的历史过程。“技术”本身作为一种历史的产物处于永恒的变动之中。

二、技术的发展模式

技术作为一种特殊的客观实在的物质运动，它的产生与发展是有规律的，技术发展的各种模式是其成长发育的客观规律的体现。就技术本身的发展而言，我们认为主要有互为补充的两种发展模式。

1. 渐进式发展模式

技术的渐进式发展，从大的方面讲，又可划分为时间渐进模式和空间渐进模式两类。

A) 时间渐进模式

所谓时间渐进模式，指的是技术在时间序列上的分布及其演化。

众所周知，人类的产生与发展是与制造工具的劳动密切相关的。恩格斯在《劳动在从猿到人转变过程中的作用》中使用了“猿类”、“正在形成中的人”和“完全形成的人”三个概念，概括了人类起源过程中的三个基本阶段。猿类是指生活在千百万年以前的古代猿类，严格意义上讲，它们和一般的动物没有什么区别。“正在形成中的人”则不同，他们此时已能直立行走，并能使用木棍、石块等天然工具，但还没有进行真正意义上劳动。而“完全形成的人”就不同了，他们此时已能够制造出最粗糙、简单的工具，他们已从动物界完全脱离出来。

工具的制造，意味着人类主动改造自然活动的开始。从使用天然工具到制造工具，这是一个漫长的过程。考古工作者在北京山顶洞人的居住地发现了大量石器，这些石器有着明显的人工打制的痕迹，这就说明北京猿人已会使用不同的方法制造工具。旧石器时代早期，人们使用火和简单的工具的水平是很低的，而到了旧石器时代中期，石器的打制技术已相当完善，不仅器形精巧美观，而且开始使用了钻孔、磨尖等技法。到了旧石器时代晚期，人们除使用石器外，开始大量使用骨器，并发明了鱼叉等捕鱼工具。随着人类进入新石器时代，工具的使用有了飞跃式发展，人们已不仅能够制造出利用多种材料的复合工具，更发明了弓、箭等新一代工具。新石器时代中期以后，随着农业、畜牧业的发展，农业生产工具和载重运输工具的产生，特别是原始社会末期冶金技术的出现，标志着人类已开始进入技术发展的新时代。我们的祖先正是利用这些伟大的技术，在改造自然的同时也改造了人类自身，人类获得了从自然界的第一次提升，这种提升又成为原始社会以后技术继续进步的新起点。最近几千年来人类技术的发展，正是在历史基础上的一种延续，而随着时间的不断推移，人类的技术将会取得更大的突破。

B) 空间渐进模式

所谓空间渐进模式，是指技术在空间上的分布及其演化。

各国各地区政治、经济、文化、资源等背景的不同，造成国家与国家之间、地区与地区之间生产力发展水平的不平衡，空间的技术差异或技术梯度就成为不以人的意志为转移的客观存在。以我国为例，改革开放以来，由于地理状况的差异、经济基础的差异以及政策的差异等因素，逐步形成了东部沿海地区，北京、天津等优势地区拥有较为先进的技术，这些地区的技术水平不仅位居全国前列，有些地区或有些技术的水平甚至与国际先进水平相比也差距不大。广大中部地区如湖南、湖北、河南、河北、安徽、江西等地区，则处于技术的中间状态，而广大西部地区及边远地区则技术相对落后，发展较慢。从技术水平的分布上看，我国从空间上形成了高、中、低三个明显的技术梯度级。就世界范围而言，也有这种现象，比如美国、日本及欧洲大部分国家技术水平居世界前列，中国、埃及、巴西、墨西哥等一批国家则处于中间层次，非洲及亚洲的许多国家则相对落后。

然而，技术的开发与利用并非在空间上一成不变，在一定的条件，也会发生迁移。这种梯度递进的迁移模式通常是先进地区和先进国家逐步向落后地区和落后国家转移、扩散。这种扩散转移通常采用两种形式：其一是技术以学术信息的形式按技术梯度层次向外传递；其二是技术原理、设计等软件以及设备、仪器等硬件技术，按可接受的技术梯度进行有偿转让。值得注意的是，这种梯度转移在一定条件下也会发生逆向传递，包括美国、日本等许多发达国家不断从发展中国家汲取技术营养就是一个明证。

技术梯度转移的速度取决于两个条件：其一是技术源中的保密程度。比如美国等一些发达国家为达到某种技术垄断的目的，故意捏造一些耸人听闻的谎言对中国等一些发展中国家实施技术封锁，人为地导致了技术转移速度减慢；也有一些企业为了企业自身的利益，对某些先进技术暂时密置，也导致技术转移速度的延缓。其二是输入技术一方的技术环境和适应程度。但有一点是肯定的，即只要有社会的需求，技术的梯度转移就会或迟或早的发生，不以人的意志为转移。

2. 突变发展模式

所谓突变模式，是指某些国家和地区，以较短的时间，快速跃过技术先进国家和地区长时间发展的进程，技术水平在短时间内达到一个新的高度的发展模式。

突变发展模式在世界几千年的技术发展史上，特别是近三百年的技术发展史上，典型事例比比皆是。以德国为例，德国 19 世纪 50~60 年代才开始大规模的工业革命，1871 年普法战争后才成为一个统一的国家。但短短三十年时间，德国就一跃而超过英、法等老牌资本主义国家而成为当时全世界技术的中心。美国 16 世纪还是印第安人的氏族公社阶段，独立战争之后的 1776 年 7 月，才正式宣告脱离英国而成立美利坚合众国，而到了 20 世纪初，他们居然超过全世界所有发达国家而成为现代科学技术的中心。

技术的突变发展模式以及这些成功的案例，对中国今天的改革开放具有十分重要的借鉴意义。中国古代的技术曾经处于世界领先水平，但近代资本主义崛起后，特别是英国资产阶级革命胜利后，广泛展开的蒸汽机技术和产业革命，使英国的技术水平跳跃式前进，突变式发展，一跃超过封建的中华帝国，成为当时科学技术的中心。自此以后，中国的科学技术水平就每况愈下，与世界先进水平差距越来越大。新中国建立以后，特别是改革开放以后，我们国家在部分领域的技术水平正与世界先进水平逐步缩小，但大部分领域，特别是制约一个国家发展的关键技术领域仍与世界先进水平有相当距离。怎样在短时期内一跃而赶上甚

至超过世界先进水平，已成为摆在全国科学技术工作者面前的首要任务。

对于如何在短时间内以跳跃方式赶超世界科学技术的先进水平，我们首先应对我国国情有一个清醒的认识。我们国家是一个人口众多、国民素质亟待提高而教育又不够发达的国家，我们国家是一个幅员广阔但人均资源相对贫乏的、发展极不平衡的国家，我们国家是一个科技水平长期滞后于世界先进发展水平的国家。因此，急于求成，期望在短期内全面超越世界先进技术水平是不现实的。但短期内在部分领域迎头赶上世界先进水平，奠定我国在世界科技发展进程中的领先地位甚至成为世界科学技术发展的中心，又不是不可能的。

日本学者汤浅光朝早在 20 世纪 60 年代就发现了科技发展历史中一个非常有意思的现象，即所谓的汤浅现象。汤浅光朝用重大科学成果的数目，成功地说明了近代五次科学中心转移的现象。他认为，一个国家如果其科学成果的总数超过同期世界科学成果总数的 25%，则谓之“科学中心”保持在 25% 以上的时间，谓之“科学兴隆周期”。汤浅发现，近代科学中心转移的顺序大致为：

意大利 (1540 ~1610 年)
英国 (1660 ~1730 年)
法国 (1770 ~1830 年)
德国 (1840 ~1920 年)
美国 (1920 ~至今)

由以上数据可以发现，每个国家保持科学兴隆的平均周期为 80 年。

其实，当我们再深入研究一下汤浅现象，就会发现每个“科学中心”国家在一定时期内其科学成果多集中在某一个或几个领域，而不是全面领先。对此，前苏联学者凯德罗夫提出了一个重要的“带头学科理论”。他认为自然科学的发展并不是总是齐头并进的，一个时期内，总有一门或几门学科作为主导学科带头向前发展，它们对整个自然科学的发展产生着重大的影响。按照这一理论，1986 年 3 月，我们国家一批优秀的科学家联名给邓小平同志写信阐述了我们国家应放弃“全面赶超”计划，有针对性的，集中有限的财力、物力、人力，在几个重要的学科领域取得突破，“迎头赶超世界发达国家”。这一建议很快获得国家批准，并启动了著名的“863”计划。863 计划就是我国试图实施突变发展战略的重大决策。汤浅现象虽然研究的是自然科学的发展变化规律，但技术的发展也具有类似的现象。设想如果我们能充分发挥社会主义国家调控的优势，短时间内，以跳跃式前进的步伐赶超世界先进国家是完全可能的。

三、技术革命及技术发展趋势

1. 技术创新与技术革命

综观技术发展的历史，技术作为人类生产劳动技能的体系，是一个不断丰富、发展的过程，这一过程表现为技术创新和技术革命两种形式。

技术创新是美国经济学家熊彼得最早提出的一个概念，他认为此概念至少应包含三项内容：第一，由于技术的创新应能导致新产品的出现。第二，由于技术的创新能导致方法的产生。第三，由于技术的创新导致市场的开发。技术创新相对于整个技术领域而言，只是局部的改良。

技术革命则不同，它指的是由于一项新的技术或一群新的技术的出现，而导致整个技术

原理的根本改变和整个人类改造自然的能力的划时代的提高。比如蒸汽机技术的出现导致了欧洲工业革命的发生，电力技术的出现从根本上改变了人类的能源机制，半导体技术的出现使通信领域产生了翻天覆地的变化……一场技术革命的到来，必然带来社会生产力的大解放和经济的大繁荣。自 1543 年自然科学革命以来，人类历史上曾发生过三次伟大的技术革命。

18 世纪 70 年代，以英国工业革命为代表，开始了人类历史上的第一次技术革命，这场革命的主要标志是蒸汽机技术在工业生产中的广泛应用。从 1783 年瓦特第一台旋转式蒸汽机制造成功之后，蒸汽机技术被迅速应用到了纺织、运输、制造、煤炭、冶金等各个领域，并形成了一个以蒸汽机动力为核心的近代工业群，从而使工业生产十倍、百倍地增长，很短时间内就完成了工场手工业向机器大工业的过渡。

第二次技术革命的标志是电力技术在工业生产中的广泛应用。从 1820 年丹麦物理学家奥斯特发现了电流的磁效应，到 1831 年法拉第发现电磁感应现象并总结出电磁感应定律，电力应用的可能性已经展示在了人们面前。1873 年麦克斯韦提出电磁理论，将光、电、磁统一起来，更开辟了电力应用的广阔前景。

第二次技术革命与第一次技术革命相比，明显表现出了技术对科学的依赖性。第一次技术革命中蒸汽机的发明和改造，虽然也一定程度上运用了热力学知识，但总体来讲，它依然依赖发明者本身所掌握的生产经验和技術经验。而第二次技术革命则开始摆脱其经验形态，建立在理论基础之上。电力技术的应用完全依赖于电学理论的发展。第二次技术革命不仅为人类创造了巨大的物质财富，改变着人们的生产、生活方式，而且还进一步改变着人们的世界观，它所带来的变化是第一次技术革命根本无法比拟的。

人类的第三次技术革命又称之为新技术革命，它发端于 20 世纪 40 ~50 年代，是以原子能、空间技术和电子计算机技术为核心的更广泛、更深刻的革命。

第三次技术革命的直接导因是 19 世纪末、20 世纪初的物理学革命。X 射线、电子、放射性元素等三项伟大的发现，揭开了物理学革命的序幕，同时也奠定了第三次技术革命的科学基础。相对论、量子力学的出现，不仅使人们对物质世界的认识由宏观进入到微观，由低速进入到高速，而且有力地促进了技术科学的发展，为新的技术领域开辟提供了理论的依据。没有微观物理学的发展，就不可能有原子技术的产生，也不可能有无无线电电子学的发展。在第三次技术革命中，电子计算机技术的出现，对人类的影响最为巨大，因为它不仅从根本上改变了人们的生产方式，而且从根本上改变了人们的生存方式，以至于许多学者更倾向于把这场技术革命称之为“新工业革命”、“第三次浪潮”等。甚至有人认为，第三次技术革命的意义已经远远超出技术的领域，称之为“一场伟大的社会变革”亦不过分。因为这场革命至少从两方面对社会经济产生了重大影响。其一，它使许多国家经济结构发生了重大改变。传统的第一产业（主要是农业）、第二产业（主要是制造业等工业）在社会生产中所占比重下降，第三产业（各种服务性行业）、第四产业（信息工业）蓬勃兴起。其二，它使许多国家社会阶级结构发生了重大改变。在技术发达国家，随着农业在国民经济中比重的下降以及工业比重的调整，农民和蓝领阶级已不占社会主体地位。第三产业、第四产业的发展，极大调整了工人阶级的人员构成，我们多年来梦想的“劳动人民知识化”已经成为现实。从目前来看，第三次技术革命正方兴未艾，我们对它的评价也许应该在未来一段时间内才能准确作出。

第一篇 数 学

对于数学的定义，是一个既简单又不容易回答的问题，古今数学家主要从数学的研究对象为出发点进行多方探讨。古希腊的毕达哥拉斯把“数”看成万物的本源，因此“数”当然也是数学的本原。而所谓的“数”是先验的，是属于“理念世界”的，因此，柏拉图把数学看成是“心智的产物”。亚里士多德反对柏拉图的先验论，认为数学只研究存在物的部分属性，即存在物的量性和连续性。他认为，数学的研究对象是剥去了事物的一切可感的质（如轻重、软硬、冷热等）之后所留下的量性和连续性。他进一步认为数是离散的量，而线是连续的量，同时指出，研究离散量及其属性的学科称为算术，研究连续量及其属性的学科称为几何学。由于这两个学科的研究对象有某些共同的性质，因而归结为一门科学——数学，所以数学是研究数量的科学。这一定义为大多数学者所认同。但如同数学本身的博大精深一样，对于数学的定义不可能是惟一的和恒定的。例如，17世纪法国数学家帕斯卡提出，“本身已如此一目了然，以致没有任何词汇能把它解说得更清楚的事物，绝不要试图给它下定义…，…以免被所使用的含混不清的词汇所欺骗。”^①对于数学的定义就是这样的问题。

数学史表明在19世纪以前，古典数学的主要成就是算术、几何学、代数学和微积分。这些数学所研究的都是客观事物的形式和数量。恩格斯因此概括为：数学的研究对象是现实世界的空间形式和数量关系。在此论断的基础上，我国数学家丁石孙提出：数学的研究对象是客观世界的和逻辑可能的数量关系和结构关系。我们认为其较好地揭示了数学的本质。

数学具有高度的抽象性、逻辑的严密性、系统地使用符号和广泛的应用等特征。抽象性和严密性是其基本特征，表现在其研究对象（无论是数量还是几何元素）都是现实社会的抽象。数学命题的成立不是靠实验证明而是靠逻辑证明。数学的符号体系是其抽象性和严密性的需要，是抽象的数学概念的具体化和逻辑证明的物质承担者。而广泛的应用性是抽象性和严格性的结果。数学还有其独特的美学意义，主要表现在数学的简洁性、对称性、和谐性和奇异性。“如果说自然美是由视觉、听觉等感官所接受的美感，数学美则是大脑思考所产生的思想结构上的精神美”^②。

在现代社会，数学扮演着极其重要的角色，它和其他自然科学享有同等地位，并在科学学的众多领域也越来越多地发挥出重要作用。数学同时具有服务社会实践的实用价值和丰富人类精神和智慧的文化价值，是衡量一个国家和民族科学文化水平的重要尺度。

转引自周述岐《数学思想和数学哲学》，中国人民大学出版社，1993.2页

同①.8页

一般认为，数学的发展经历了 4 个重要阶段，即萌芽时期（前 6 世纪以前）、常量数学时期（前 6 世纪 ~17 世纪初）、变量数学时期（17 ~19 世纪）和现代数学时期（19 世纪末以后）。数学从萌芽发展到现代水平，绝非某一个民族和地区的产物，而是全世界许多民族和地区经验和智慧的结晶。

第一章 古代数学的发展

在人类漫长的社会生活和生产实践过程中，世界东方的几个文明发源地的人们首先认识到数与形的客观存在，进而不断地理解和运用它们来解决在耕作、建筑、交易、战争、祭祀和天文观测等活动中遇到的实际问题，从而形成数学这门独立的学科。到了古希腊时期，数学与哲学紧密结合起来，使数学知识被抽象和概括形成数学理论，古希腊学者慎于理性思考和逻辑证明的风尚使得数学理论逐步完善为公理化体系而影响久远。古希腊数学衰退以后，古代数学的发展中心又转移到东方的中国、印度和阿拉伯。在这里，数学理论和知识得到进一步发展，继而在文艺复兴时期传播到欧洲，数学再次放出新的光彩。

第一节 数学萌芽时期

人类文明起源于埃及的尼罗河、巴比伦的底格里斯河与幼发拉底河、印度的印度河与恒河和中国的黄河与长江等大河流域，数学也萌生于这些地区。

一、古巴比伦的数学

位于底格里斯河和幼发拉底河之间的美索不达米亚平原（现伊拉克一带），曾孕育了世界的古老文明。因该地区有一个重要城市名为“巴比伦”，现以该名字称呼这一地区。生活在两河流域的苏美尔人在公元前 4000 年就创造和使用了文字，史称“楔形文字”。在这些楔形文字中，人们发现了世界上最早的以文字记录的“数字”。

苏美尔人的数字有两个基本符号 ∇ 和 \blacktriangleleft ，分别代表数字“1”和“10”。他们的数采用 60 进制制书写。对于 60 以内的数，采用加法原则，将基本符号组合来表示数值大小。如 23 记为 $\blacktriangleleft\nabla\nabla\nabla$ 。对于较大的数值则采用位值制书写，用空格表示“0”。在这些楔形文字中，人们还解读到关于分数和加、减、乘、除等算术运算，并发现他们主要使用数表进行运算。

在刻有楔形文字的泥板中，人们发现了古巴比伦在代数学方面的辉煌成就。如他们已经得到了二次方程的解法，涉及数列和极限的问题，这些都后人认为是世界最早的代数学遗迹。人们还注意到，古巴比伦数学中对代数的认识要比对几何的认识深刻得多。虽然当时已有对几何问题的描述和解决方法（如简单的几何图形及面积和体积求解问题），但大都是将其转化为代数问题。

二、古埃及的数学

在非洲大陆北部尼罗河西岸的沃野上，在公元前 4000 年以前就形成了强大的埃及王国，那里孕育了人类的另一个早期文明，且在很长一个时期保持着独立的发展。大约在公元前 2900 年，古埃及人建造了著名的奇阿普斯金字塔。塔高 146.5 米，基底正方形的边长 233 米，底边的相对误差不超过 $1/14000$ ，基底直角的相对误差不超过 $1/27000$ 是 19 世纪法国埃菲尔铁塔（高 300 米）落成以前几千年间世界上最高的建筑物，这充分反映了古埃及人的聪

明才智以及他们所掌握的数学、建筑学等知识。

通过 19 世纪发现的两本纸草书，我们可以窥见古埃及的数学成就。一本为现存英国博物馆（史称“伦敦本”）的纸草书，作者是埃及僧人阿默士（Ahmes 约前 17 世纪），书名为《阐明对象中一切黑暗的、秘密的事物的指南》。书中记载了公元前 2200 年以来的一些数学问题，共有算术、几何和杂题等三章、85 个实用数学题的解法。另一本现存于莫斯科博物馆（史称“莫斯科本”），书中记载有 25 个数学题。由于该书卷首部分散失而不知其书名与作者。

这两本纸草书都是用象形文字写成的，数字的表示为：|表示 1，∩表示 10，@表示 100，✱表示 1000。介于这些数字之间的其他数就由这些记号累加组成，如：∩∩∩∩表示 23。需要说明的是，古埃及的数字符号体系虽然是以 10 为基底的十进制记数法，但它与今天的十进制是有本质区别的。现代十进制称为“位值制”，最先被中国人在公元前 16 世纪发明使用，而古埃及人用的十进制属于“累进制”。两本纸草书记载了古埃及人利用其数字符号体系进行加减乘除运算的实例，但进行乘除运算是相当繁琐的。

纸草书中记录的数学问题都是被应用于诸如确定酿造啤酒或制作面包所需要的谷物量、求面积和体积等实际问题，可以划分为代数问题和几何问题。如阿默士纸草书中的问题 24 说的是：如果一堆和一堆的七分之一是 19，问一堆是多少？这个问题用一元一次方程很容易解出。尽管书中对于诸如此类的问题都是用算术法求解的，我们仍可以将其列为代数类问题。而该书中的问题 48 为：有一个边长为 9 的正方形，将其每边分成三等份，连接分点得到一个八边形，试求其面积。显然这是一个几何问题。

两本纸草书中的几何问题共有 26 个，大部分是计算土地面积和谷物堆放的体积问题。在这些问题中，古埃及人得出圆的面积为“直径平方的 $\frac{8}{9}$ ”与现代圆面积公式比较其圆周率为 3.16。而巴比伦人的圆面积公式为“周长平方的 $\frac{1}{12}$ ”其圆周率为 3。显然，前者的算法更精确一些。古埃及人几何学上的最大成就当数四棱台体积公式的发现——其与现代的计算公式是完全相同的。

三、古印度的数学

古印度位于亚洲大陆南部，也是世界古老文明的发源地之一，其早期文明至少可追溯到公元前 2000 年。但由于古印度文字大多写在白桦树皮和叶子上，不易保存，所以印度远古数学史料非常少见。

从零星史料中可以窥见古印度很早就开始研究数学问题。大约在公元前 1000 年就研究出一种求解圆面积的方法：一个圆的面积等于一个矩形的面积，这个矩形的底等于半个圆周长，高等于圆半径。按照这种算法，圆周率约等于 3.09。大约在公元前 5 世纪，一部名为《绳法经》的著作记载了许多的数学概念，涉及矩形、圆形、等腰梯形及三角形等几何图形及相关问题，还记载了“勾股定理”的内容及“ $\sqrt{2}$ ”的近似值。从书中可以了解到，古印度的早期数学与宗教仪式有密切联系，上面谈到的几何图形就是论及祭坛的图形及面积等问题时而引出的。

从古巴比伦、古埃及及古印度（以及后面要讲的中国古代数学）的情况可以认识到，处于萌芽时期的数学是直接与实践和（或）宗教活动相联系的。当时的数学问题都是人们从

经验中提出的具体方法的汇集。萌芽时期的数学已经注意到“数”与“形”这两个根本对象，但尚未形成抽象的理论，也没有系统的符号体系。

第二节 中国古代的数学成就

作为四大文明古国之一的中国为人类文明和进步做出过巨大贡献，中国古代数学同样拥有不少辉煌成就，其中不乏属于世界首创的成就。如：伴随着筹算而形成的“筹算制”和“十进位值制”，公元前 220 至公元前 200 年的分数四则运算法、方程解法、正负数运算法则等，5 世纪的圆周率的测算，7 世纪至 8 世纪的内插法，11 世纪至 14 世纪的高次方程解法、贾宪三角、大衍求一术以及后来的珠算等成果在世界数学史上都曾处于遥遥领先的地位。

一、中国数学的起源

考古发现，中国人对“数”与“形”的认识和理解可追溯到石器时代。据《易·系辞》记载：“上古结绳而治，后世圣人易之以书契。”在殷墟出土的甲骨文卜辞中有很多记数的文字，从一到十，及百、千、万是专用的记数文字，共有 13 个独立符号，记数用合文书写，其中有十进制的记数法，出现最大的数字为三万。出土的石器和陶器也可见多种多样的几何图形和代表数字的符号。到西周和春秋时期已经有了比较规范的数字符号（见图 1）。

春秋战国时期我国已经广泛使用“算筹”作为计算工具进行运算。《前汉书·律历志》记载：“其算用竹，经一分，长六寸。”1954 年在长沙战国楚墓中出土的文物中即有如书中记载的竹算筹，后世亦有骨质和金属算筹，为携带和使用方便，其长度有所缩短。由于当时尚无纸张，需要计算时，人们就拿出算筹摆成相应的行列进行计数和运算。利用算筹进行运算称为“筹算”。

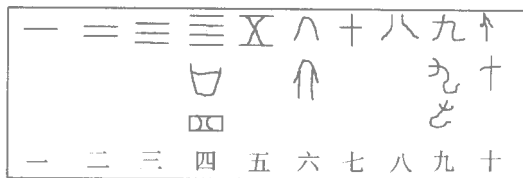


图 1 金文中从一到十的数字字形

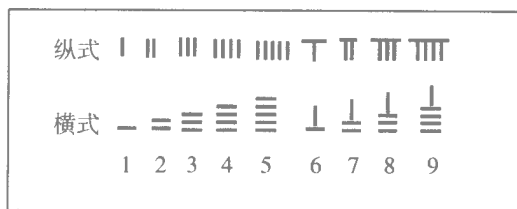


图 2 算筹记数

使用算筹进行计数有两种方式（见图 2）：纵式和横式。算筹的计数方法为“一纵十横，百立千僵，千十相望，万百相当”。即从右到左，个位用纵式，十位用横式，百位和千位又分别是纵式和横式。当时因没有“0”符号，零用空位表示。

这种记数方法简明方便，易于使用，与现行通用的十进位值记数法完全一致，这一记数和运算方法一直沿用两千多年，到 15 世纪中叶才逐渐被珠算所代替，由此可见我国这一发明的先进性，马克思曾高度评价说：“这是最妙的发明之一。”

算筹用于加减乘除运算也很简便。做加减法时，上下摆成两行，按加减变成一行即得出结果；做乘除运算时，按特定的口诀进行，也不难掌握。

在几何学方面，《史记·夏本纪》中说夏禹治水时已使用了规、矩、准、绳等作图和测量工具，并早已发现“勾三股四弦五”这个勾股定理（西方称毕达哥拉斯定理）的特例。战国时

期，齐国人著的《考工记》汇总了当时手工业技术的规范，包含了一些测量的内容，并涉及一些几何知识，例如角的概念。

《易经》诞生，八卦出世，阴阳五行成说。《周易》本来是一部占卜用的典籍，但其中蕴含着丰富的哲学和数学知识。

1. 成卦规则：“易有太极，是生两仪，两仪生四象，四象生八卦。”（见图 3）

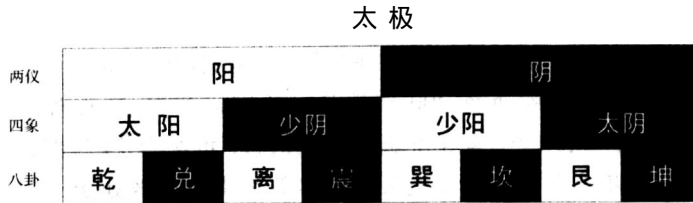


图 3 太极

给后人的两个启示：

(1) 排列：排列的数目 $U = n^r (n = 2, r = 2, 3, 6)$ 。

如： $U = 2^2 = 4$ （四象）； $U = 2^3 = 8$ （八卦）。

(2) 二进制数：若阳爻用“1”表示，阴爻用“0”表示，则四象即二进制数的 11,01,10,00；八卦即二进制数的 111(乾),011(兑),... ..,010(坎)。

2. “河图、洛书”中的数学知识

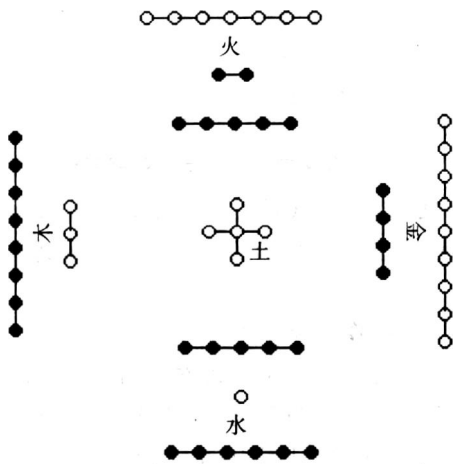


图 4 河

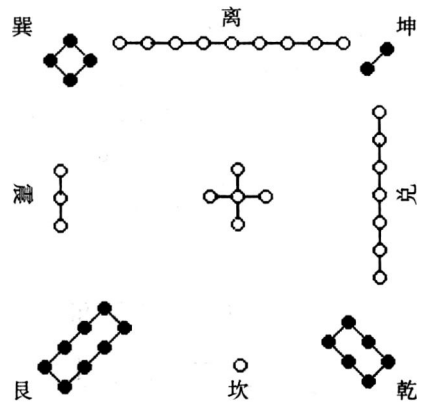


图 5 洛书

“河图”称为“天地生成数”，图中有数一、二、三、四、五、六、七、八、九、十。其中，奇数表为白点，偶数表为黑点。若抛开中间的 5 与 10 则其余的奇、偶数各自相加都得 20。数的这种排列结构在现代数学中称为“幻方”（见图 4）

“洛书”称为“九宫”造型奇妙，内容是 1 至 9 这九个数的巧妙排列，使得横、竖、斜三数之和都得 15。故“九宫”可谓世界上最早的“三阶幻方”。（见图 5）

《周易》的哲学及数学思想对后人影响甚大。

二、初等数学理论体系的形成

秦汉至唐时期是中国古代数学体系的形成时期。为使不断丰富的数学知识系统化、理

论化，数学方面的专门书籍陆续出现。

西汉末年（1 世纪）编纂的天文学著作《周髀算经》在数学方面主要有两项成就：（1）提出勾股定理的特例及普遍形式。（2）测太阳高、远的陈子测日法，为后来重差术的先驱。此外，还有较复杂的开方问题和分数运算等。

标志着中国初等数学理论体系形成的《九章算术》是一部经几代人整理、删补和修订而成的古代数学经典著作，约成书于战国至东汉初年（1 世纪），全书包括方田、粟米、衰分、少广、商功、均输、盈不足、方程和勾股等九章，书的体例采用问题集形式（形如现在的习题解答），共 246 问、202 术（解题方法），分别解答（土地）面积测算、谷物交换（比例）测量、水利、土方工程、徭役赋税等应用问题。在代数方面，方程一章中所引入的负数概念及正负数加减法法则，在世界数学史上都是最早的记载。书中关于线性方程组的解法和现在中学讲授的方法基本相同。

例如“今有术”（粟米章第 1～31 问）：

粟米章中首先规定了 20 种谷物的互换比率：“杰率五十，粳米三十，啤米二十七……”

问：“今有粟一斗，欲为粳米，问得几何。”

答曰：“为粳米六升。”

术曰：“以粟求粳米，三之，五而一。”

依“今有”数据，按比例关系推算所求数据，称为“今有术”。曰：“以所有数乘所求率为实，以所有率为法，实如法而一。”即

$$\text{所求数} = \text{所求率} \times \text{所有数} / \text{所有率}$$

$$\text{粳米数} = 0.3 \times 10 / 0.5 = 6 \text{ (升)}$$

就《九章算术》的特点来说，它注重应用，注重理论联系实际，形成了以筹算为中心的数学体系，对中国古代数学影响深远。它的一些成就如十进位值制、今有术、盈不足术等还传到印度和阿拉伯，并通过这些国家传到欧洲，促进了世界数学的发展。

魏晋时期中国数学在理论上有了较大的发展。其中赵爽和刘徽的工作被认为是中国古代数学理论体系的开端。赵爽是中国古代对数学定理和公式进行证明的最早的数学家之一，对《周髀算经》做了详尽的注释。刘徽注释《九章算术》，不仅对原书的方法、公式和定理进行一般的解释和推导，且在论述过程中多有创新，更撰写《海岛算经》，应用重差术解决有关测量的问题。刘徽所做的一项重要的工作是创立割圆术，为圆周率的研究工作奠定了理论基础和提供了科学的算法。

在南北朝时期，祖冲之、祖暅父子的工作最具代表性，他们在数学上主要有三项成就：（1）计算圆周率精确到小数点后第 6 位，得到 $3.1415926 < \pi < 3.1415927$ 并求得 π 的约率为 $22/7$ ，密率为 $355/113$ ；（2）得到祖暅定理（幂势既同，则积不容异）并得到球体积公式；（3）发展了二次与三次方程的解法。

隋唐时期由于历法需要，创立出二次内插法，为宋元时期的高次内插法奠定了基础。而唐朝后期的计算技术有了进一步的改进和普及，出现很多种实用算术书，对于乘除算法力求简捷。此外，唐朝在数学教育方面有长足的发展。656 年国子监设立算学馆，设有算学博士和助教，由太史令李淳风等人编纂注释《算经十书》（包括《周髀算经》、《九章算术》、《海岛算经》、《孙子算经》、《张丘建算经》、《夏侯阳算经》、《缉古算经》、《五曹算经》、《五经算术》和《缀术》），作为算学馆学生用的课本，对保存古代数学经典起了重要的作用。