



第一章

科学之起源

科学是什么

我们在前言中多次使用了“科学”这个词汇，但至今为止对它却没有任何定义。这是因为事实上科学很难被确切地定义。那么，让我们首先从“科学的起源”说起，先从历史进程中来体会一下“什么是科学？”。

当今世界的人口超过 70 亿，包括各色人种和众多民族。但有些颇为令人意外的是，根据人类演化历史的研究及现代 DNA 技术的追踪，这几十亿的人口，很有可能来源于一个共同的祖先：非洲人。也就是说，人类的演化过程可以画成单一的一棵树，非洲人是树干，欧亚人及其他人种和民族都是后来不断长出和分化的枝丫。

人类的祖先用双脚走出非洲遍游世界，将后代延续繁衍到地球各处。之后，人类产生了思想、语言、文字，再更进一步，人类逐渐沿河而居发展农业，不再迁徙和流浪，而是聚集在一起建立了城市和国家，并因之而独立诞生了好几个“文明古国”，其中包括公元前 3500 年左右的两河文明、公元前 3000 年左右尼罗河畔的埃及文明、公元前 2500 年左右恒河流域的古印度文明，以及公元前 2000 年左右黄河长江流域的中国华夏文明。

尽管多种人类文明独立诞生于不同的地区，各自形成了不同的特色，但是，作为人类文明思想精华之一的现代自然“科学”，却起源于唯一的一个地方：古希腊。

将范围缩得更小一些，科学起源于古希腊的一个叫米利都的城市。当年那儿有一位如今被称为人类第一位科学家的哲学先贤——泰勒斯。

为什么科学没有起源于上述几个著名的文明古国之一，而是诞生于古希腊？这是偶然发生的，还是历史的必然？凭什么说古希腊的泰勒斯是第一位科学家？泰勒斯及古希腊学者们对科学作了哪些贡献？墨子能算中国的第一位科学家吗？墨子对科学作了哪些贡献？

1 第一位科学家 >>>

科学为何诞生于古希腊？

科学为何独独诞生于古希腊而非别处？答案有些出乎人们的意料，其原因竟然与古希腊的地理环境有关！

事实上，公元前 500—600 年，人类几大古文明世界不约而同地、独立地经历了一场翻天覆地的思想文化突变，这不能不说是一个奇迹！世界上各个文明发源地，伴随着当时在冶金及建筑等技术方面取得的不少辉煌成就，均出现了一个思想家辈出、哲学派别林立的兴旺场面，并且各自形成了自己的特色和风格，各方的宗教思想也走向了严密化和系统化，东西方哲学思想的发展开始分道扬镳。因此，有后人将那个时代称为“轴心时代”，被描述为是人类文明历史上“最深刻的分界线”。

在所谓的“分界线”年代，中国有孔子、老子、墨子、庄子、列子等诸子百家，印度有释迦牟尼，古代波斯出现了拜火教……人类的几大古文明社会开始通过不同的哲学反思方式来认识和理解这个世界。

古希腊的地理环境有何特点呢？如上所述，大多原生文明都是始于农业的发展（玛雅文明除外，是丛林文明），因此，大多数文明古国都建立于江河流域，因为河流的生态系统和灌溉能力为人类农业活动提供了丰富充沛的食物和宽广肥沃的土地。而古希腊呢，并不具备这种条件。如今公认的科学之发源地米利都位于爱琴海东部沿岸，属于古希腊爱奥尼亚诸岛一带。这儿没有河流，只有广阔的海洋；没有广大肥沃的平原，只有贫瘠的山地。如此的地理条件，既不利于发展农业，也不方便建立大一统的帝国。爱奥尼亚一带多山，但沿岸有一个个的出海口，它们位于多面环山一面朝海的山谷中。这些出海口向内的陆路交通被群山阻隔，但通过海路与其他

科学是什么

文明地区的交流却极为便利，因而使得以航海为基础的自由商业贸易迅速发展起来，形成了颇为富裕的、自治的、互相没有依附关系的独立城邦，米利都便是当时较大的 12 个城邦之一。

因此，古希腊没有出现原生文明。然而，正是这种特殊的生存环境，加之爱琴海一带靠近古埃及和两河流域，频繁兴旺的商业活动不时带来这两种文明的相关信息，思想家们避其短而取其长，从中汲取丰富的养分。古希腊距离埃及和巴比伦虽然较近，但又有足够的距离使得它能保持自己的特色，并由此孕育出了一种特别的、独一无二的、崇尚科学与自由思想的、有着海洋色彩的次生文明。

总而言之，特别的地理条件和某些相应的历史原因，导致科学发端于古希腊，著名物理学家薛定谔曾经将其原因大致归纳为如下 3 点：

（1）古希腊爱奥尼亚岛屿上以及沿岸自治繁荣的小城邦，实行的是类似于共和制的政治。

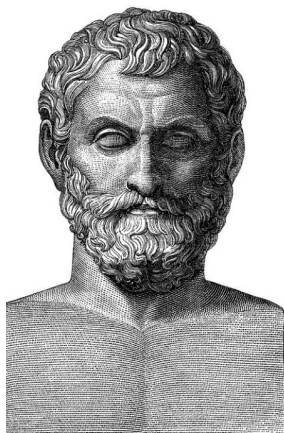
（2）航海贸易刺激经济，商业交换促进技术发展，由此而加速了思想交流，冲击科学理论的形成。

（3）爱奥尼亚人大多不信教，没有像巴比伦和埃及那样的世袭特权的神职等级，有利于倡导独立思想新时代的兴起。

自然科学归根结底是脱胎于哲学，也得益于数理逻辑。在古希腊时期，科学和哲学是不分的，因此科学也被称为“自然哲学”。古希腊特定的历史条件、独特的地理环境，以及丰厚的文化背景，使其哲学思想独具一格。与后来东西方分别发展的哲学思想比较起来，有其自身的突出特点。比如说，古印度哲学多探讨人与神的关系；中国哲学家们大多热衷于研究如何安国兴邦平天下，探讨的是人与人的关系。唯独古希腊哲学家们，喜好研究自然本身的规律，探讨的是人与自然的关系，而这正是科学的本质。

泰勒斯何许人也？

泰勒斯出生于米利都（图 1-1-1），尽管当年爱奥尼亚的这个城邦名义上属于波斯统治，但基于如上所述的原因，米利都实际上具有很大的独立性。米利都的大多数居民，是在公元前 1500 年左右，从克里特岛迁来的移民。克里特岛在米利都的西南方，位处古埃及、巴比伦文明的辐射范围以内。而到了泰勒斯的父母一代，他们原是东南方向善于航海和经商的腓尼基人，也算是奴隶主贵族阶级。因此，泰勒斯从小受到良好的教育，且早年随父母经商，曾游历埃及、巴比伦、美索不达米亚平原等地。泰勒斯兴趣广泛，涉及数学、天文观测、土地丈量等各个领域，游历过程中学习到很多知识。



(a)



(b)

图 1-1-1 泰勒斯 (a) 和米利都 (b)

尽管泰勒斯自己没有留下文字著作，但他的事迹广为人知，被同代人流传，被后人所记载，人们认为他在各个领域都有卓越的贡献和很高的造诣，是西方思想史上第一个有记载、有名字留下来的思想家。这位人称“科

科学是什么

学之祖”的伟大人物也在民间留下了很多轶闻趣事。

据说泰勒斯有一次用骡子运盐，一头骡子不小心滑倒跌入溪水中，背上的盐被迅速溶解了一部分，于是这头狡猾的骡子每到一个溪水旁就打一个滚，故意让盐溶解以减轻负担。泰勒斯发现了这点，便将计就计，有时让这骡子改驮海绵，骡子到溪边照样打滚，却发现负担越来越重。最后，聪明的泰勒斯终于使那头骡子改掉了溪边打滚的习惯，老老实实地继续驮盐。

泰勒斯还有几个预言成真的故事。他曾经预言有一年雅典的橄榄会丰收，并乘机购买了米利都所有的橄榄榨油机，抬高价格垄断了榨油行业，于是大赚了一笔，他以此证明自己如果把心思放在经商上，有潜力成为一个精明的商人。

据说泰勒斯利用他学到的天文知识，预测到了公元前 585 年的一次日食。这点可见于古希腊历史学家希罗多德在其史学名著《历史》中的记述：

“米利都人泰勒斯曾向爱奥尼亚人预言了这个事件，他向他们预言在哪一年会有这样的事件发生，而实际上这预言应验了。”

后人对泰勒斯预言日食这件事颇有争议。笔者认为，根据人类当时的天文观点，泰勒斯当然不可能从“日地月”的运动位置关系上来做出日食预测，但泰勒斯有可能得到了古巴比伦人从一个世纪的天文观察资料所总结的“日食按照 233 个朔望月周期重复出现”的规律，从而能够推断出哪一年将重复发生日食。

据说在那年，米堤亚和吕底亚的军队正准备打仗，泰勒斯的预言阻止了这场战争，因为古希腊人将日食视作上天将惩罚人类的一种警告，交战双方自然不愿违背天意，于是便签订了停战协议。根据现代天文学的知识，那是公元前 585 年 5 月 28 日的日食，泰勒斯应该无法准确地给出日期，只能预料一个大概的年月而已。

泰勒斯晚上没事时喜欢一边散步一边抬头看天象，也冥思苦想哲学问

题，脑海中则免不了思绪翻滚。但他只知研究天上的星星，却看不到自己脚下的大坑，有一次不小心掉进了井里，女仆听到呼救声后，好不容易将他救了上来。

泰勒斯在想些什么呢？作为第一位早期形而上学哲学家，他思考最多的是有关世界的本源。仅仅自己思考还不够，泰勒斯到晚年招了几个学生，创立了米利都学派，大家一起讨论和研究天下万物的本源问题。

米利都学派

世界万物来自何处？

它们是由什么构成的？

能否用单一的（或多个）本源来描述它们？

如何解释观察到的自然现象的本质？

……

这些，是当年古希腊哲学家们想要回答的问题。

米利都学派的主要人物有 3 个——泰勒斯、他的学生阿那克西曼德以及学生的学生阿那克西美尼。

米利都学派的最重要特点是理性思维，这是走向科学的第一步。

古代的先民们，抬头望天低头看地，或曰“仰观天象俯察地貌”。面对周围五彩缤纷的世界，美丽的河流山川，各种动物植物，飞的跑的、红的绿的，人们难免会浮想联翩，创造出无数的神话和传说。众所周知，每一个古老的民族都有自己的神话，形成各个民族文化的重要构成部分。此外，人们仰望星空，想象着美好的天堂，反之，也想象下面地壳深处可能有令人恐怖的地狱；而人生在世面对的是现实世界。探求这三者的关系，又产生了各种宗教。

最早的人类，用宗教和神话来解释世界，将所见所闻的现象，诉诸众

科学是什么

神，诉诸上苍。米利都学派却首开先河，将自然界发生的一切，诉诸理性思维，诉诸自然本身，而不是诉诸某些超自然的力量。

首先，他们思考的是：世界是如何构成的？什么是万物之本源？

最简单的假设是认为万物都由同“一”种物质构成，即宇宙万物来自“一个”共同的本源。泰勒斯是思考这个问题的第一人，他宣称这个共同的“原质”是水。没有记载谈及泰勒斯这个想法是如何得来的，如今听起来似乎显得幼稚好笑，但即使是现在，如果让一个没有受过教育的人从他所见物质中挑选一样作为“本源”的话，“水”也算是一个合理的选择。万物都需要水！泰勒斯通过他对地球上事物细致的观察，感觉水是自然世界中最重要东西，特别是生命所不可或缺的，水无处不在，被加热后能变成捉摸不定的“气”，冷凝后形成固态的冰。因此，泰勒斯想，何不再进一步，认为水是最初的、最基本的东西呢？然后，水生万物，组成了大千世界。当然，今天我们有了现代的物理学知识，有了原子结构理论及基本粒子标准模型，知道泰勒斯的结论是错误的，但在当时的认知背景下，企图将万物归于“一种起源”的提法本身，就可算是思想上的突破了。泰勒斯还有一个观点是“万物有灵”，他认为整个宇宙都是有生命的，万物皆有灵魂，才形成这个世界的千变万化、生机盎然。

泰勒斯“万物始于水”的理论，是基于经验观察又超越了经验观察而得到的理性推论和假设，这正是现代科学经常使用的方法。泰勒斯的学生们发扬光大他的方法，却又不满意老师对世界的诠释，互不相让，各执一词。

泰勒斯的学生阿那克西曼德说，万物怎么能归于一种“水”呢？水这种物质的形象太具体了！还不如想象出一种我们无法体验到的某种“无穷”又“无定”的基本“原料”吧，世界由这种抽象的基本原料构成，不需要取材于人们常见到的自然物。阿那克西曼德不仅善于抽象，而且表现出的科学预见能力令人惊讶，例如，他提出了循环往复的宇宙论学说，与两千

多年后现代宇宙学中某些模型颇为相似。他思考生命起源，认为生命从湿气元素中产生，人和其他动物最初都是鱼，后来才离开水，来到陆地上，最后适应了干燥的新环境，这听起来与现代生物进化论有异曲同工之妙。

阿那克西曼德将泰勒斯的万物源于“水”改造成万物源于“无形”。不料，他自己也教出了一个叛逆的学生——阿那克西美尼。阿那克西美尼宣称万物源于“气”，他不仅提出此观点，并且还通过稀释和凝聚的过程来解释“气”如何形成了万物：气凝聚在一起组成水，水再进一步凝聚构成土，土再凝聚则成为石头……反之，当气变得稀薄时，它成为火，而气的运动便形成了风。所以，万物皆由“气”组成，“气”量的多寡形成不同的物体，就如我们现在经常说的“量变产生了质变”。此外，阿那克西美尼观察到：生命需要呼吸，呼吸时进出的物质就是气，因此，气才是构成世界的最基本元素。气可以通过空间无限扩展，包围和维持着一切，因此，整个世界和宇宙，都可以被看作是能呼吸的有机体。

当我们现在回顾古希腊科学家们的各种假说时，并不在乎这万物之源是“水”“火”“气”，还是别的什么东西，因为它们全都是错误的！但我们通过梳理这段历史，足以体会到这几位先驱具有的科学精神，他们不畏权威、大胆质疑，既互相继承，又互相否定。从他们各自的理论，似乎可以想象出当年师生之间自由辩论的学术风气。他们的理论借助于经验观察，又开创出理性的精神，追求普适的规律，思考永恒的问题。他们不用神话和迷信来解释世界，而是认为世间万物都有自己的根源和逻辑。由于这些哲学家的努力，在科学史上竖起了第一座里程碑，就此播下了科学的种子！

科学究竟诞生于何时？是公元前的古希腊，还是 2000 多年后的伽利略时代？答案至今颇有争议，后者更为合适。但即使不用“诞生”这个词汇，学界也一般认为，现代自然科学起源于古希腊。当时的古希腊米利都一带，由于特定的地理位置因素，形成了一种追求自由、崇尚理性、尊重

科学是什么

智慧、研究自然的思辨精神，有利于科学的萌芽。

事实上，在古希腊年代，与其遥遥相望的东方古国——中国，正值春秋战国的诸子百家时期（公元前 770—前 256）。那也是一段社会动荡、风云变幻、百家争鸣、人才辈出、学术风气异常活跃的年代。那段时期的古中国，是否也埋下了科学的种子呢？

古希腊科学的特点是不拘一格、自由思辨，这种多少有点“不食人间烟火”的特色，需要某种贵族文化的支撑，换言之，古希腊科学是衣食无忧的贵族们“玩”出来的。无独有偶，中国的春秋时期也崛起了一个特殊的阶层——“士”，指的是一批凭自己的知识和技能维持生计的人物，可算是中国知识分子阶层的老祖宗。他们原本来自不同的社会环境，有衰落的贵族，也有普通的庶民，因而在思想方面敢于创新，并有相对的自由和独立性。他们不仅自己具有杰出的智慧，是著名思想家、政治家或科学家，而且还兴教育、重学问，广收门徒，聚众讲学。其代表人物便是历史上所谓的“诸子”，如孔子、孟子、墨子、庄子、荀子、韩非子等。他们各自著书立说，提倡百家争鸣，形成了儒家、墨家、道家、法家、名家等学术流派，即为“百家”。

基于中国文化的传统特点，各家学派的基本宗旨大多是为所服务的国君提供政治策略。学者们周游列国，为各方诸侯出谋划策，例如，儒家的“仁政”，道家的“无为而治”，法家的“废私立公”，墨家的“兼爱”，各有所长，但最终目的都不外乎是稳定民心、打败敌人、立国兴邦、一统天下。

不过，宽松的政治环境和言论自由，毕竟是利于科学技术的，况且，某些应用科学（特别是技术）有“用处”，能促进农业的发展，有利于国计民生，当然也有利于统治阶层。因此，可以说，春秋战国时期，在物理、天文、中医等方面，中国人也有了之后上千年都难以超越的辉煌成果。

2 中国古代的科学 >>>

《墨经》中的物理

墨家是诸子百家中重视自然科学研究和技术探讨的唯一学派。对此梁启超在其著作《墨子校释》的自序评价说：“在吾国古籍中欲求与今世所谓科学精神相悬契者，《墨经》而已矣。”蔡元培也认为：“先秦唯墨子颇治科学。”

墨家学派的创始人墨翟（墨子），比希腊科学家第一人泰勒斯晚 150 年左右。墨子一身兼具科学家、技术家和工匠多重身份，其弟子也多为来自社会下层的手工业者。墨家学派和追随者都经常参加各种劳动，使得他们有条件对经验知识进行理论上的思考和总结，总结出其中的规律，有意识地开展一些科学观察和实验活动，并形成了自己的科技思想。这些思想和活动被记录在《墨经》中。

《墨经》言简意赅。全文 4 篇：《经上》《经说上》《经下》《经说下》，约 180 条。每条分《经》和《说》两部分。《经》是定义或命题，《说》为解释和描述。内容包括逻辑、几何、力学、光学等方面。首先举两例如下。

（1）定义“力”的概念

《经上》：“力，刑（形）之所以奋也。”定义“力”为“奋”（物体状态变化）的原因。

《经说上》：“力，重之谓下。举重，奋也。”进一步举例（重力）解释力是什么。

（2）定义“时间空间”

《经上》：“久，弥异时也；宇，弥异所也。”久是时间，宇是空间。

《经说上》：“久，古今旦暮；宇，东西家南北。”时间用“古今旦暮”解释，

科学是什么

空间表明家之“东西南北”。

此外,《墨经》[图 1-2-1(a)]中对浮体在水中的平衡、自由落体、运动和静止、杠杆、斜面、重心等力学概念都进行了描述和研究。

力学概念的研究显然可以帮助制造有用的机械,这才有了《韩非子·外储说》所记载的墨子做出的飞鹰飞上高空,几日不落;《墨子·公输篇》中记载的,当时制造器械的高手公输班与墨子比赛中甘拜下风的有趣故事。

墨子和他的弟子们的工作中,最具“科学”意味(非技术)的是对几何光学研究。《墨经》中记录的光学现象,必定是墨子等人有意地进行了一些光学实验,比如小孔成像、平面镜成像、凹面镜成像、凸面镜成像等而发现的。8条《经》文,寥寥几百字,清楚地记录了各种环境下成像的过程,物体与光源之相对位置对影像大小的影响,等等,尤为重要的是,这些实验事实证明了“光线直线传播”这个物理规律,从而奠定了几何光学的理论基础。

以小孔成像为例[图 1-2-1(b)]:

《经下》:“景到,在午有端与景长,说在端。”(译文:影颠倒,光线相交,焦点与影子造成,是所谓焦点的原理。)

《经说下》:“景。光之人,煦若射,下者之人也高,高者之人也下。足蔽下光,故成景于上;首蔽上光,故成景于下。在远近有端,与于光,故景库内也。”(译文:影,光线照人,像剑一样直。射到下面就反射到高处,射到高处就反射到下面,因成影倒。足遮住下面的光,反射成影在上;头遮住上面的光,反射成影在下。在物的远处或近处有一小孔,物体为光的直线所射,反映于壁上,故影倒立于暗盒内。)

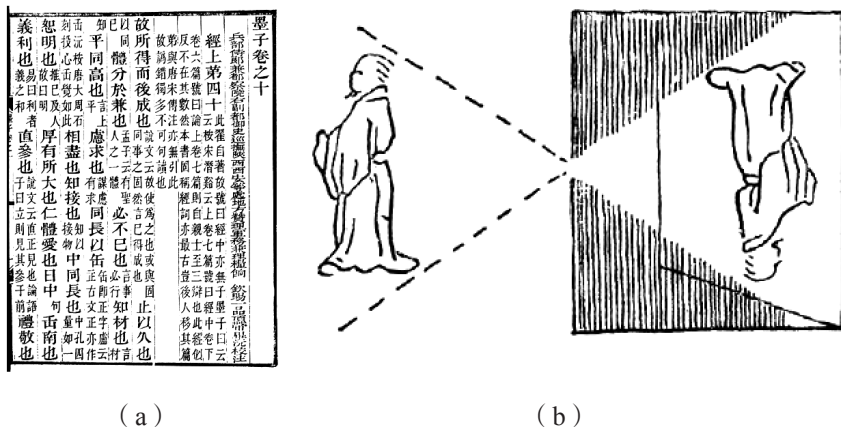


图 1-2-1 墨经 (a) 与小孔成像 (b)

《墨经》中探讨物体影像的这段文字颇为有趣，反映了墨子对所观测现象进行思考的科学精神。

墨子细致观察运动物体影像的变化规律，提出“景不徙”的命题。认为物体运动时，仿佛影子也在运动，这是一种错觉。墨子认为，运动物体在每一时刻产生的影子是不会移动的，物体从原来位置移动了，原有的影像便消失了。物体在新的位置和新的光照条件下，将有新的影子，但这个影像是新形成的，并非前一瞬间的影像“移动”而来。也就是说，影像自身只能“形成”，不会“运动”。

虽然《墨经》中大多数文字是基于对自然现象的反复观察而做出的客观记录，但墨家弟子显然也很重视探讨产生这些现象的原因。《经上》中有一条：“巧传则求其故。”“求其故”的意思就是揭示原因、本质和规律，这说明墨家对研究自然现象采取了一种与现代自然科学相似的方法。

当然，不同于古希腊科学家们更为重视逻辑和思辨的哲学“玩”法，墨家科技思想的核心是功利主义的，墨家研究科学的目的是：“功，利民也”“为天下兴利除害”，不是单凭好奇心和求知欲，而是一种实用和“逐利”

科学是什么

的科学价值观。

综上所述，墨家的科学实践，首先是进行观察和实验，然后在此基础上升华到理论和思想，这与现代科学的方法是完全一致的。墨子比泰勒斯晚了约 150 年，但应该是当之无愧的中国古代科学家（物理学家）第一人。可惜的是墨家的科学活动未能传承下去。

墨家学派在春秋战国时期影响很大。《韩非子·显学》说：“世之显学，儒墨也。”可见当时墨家的地位并不亚于儒家。但令人遗憾的是，墨家的科学精神并未被发扬光大，之后，秦始皇统一中国，到了汉朝更是提倡独尊儒家，儒家思想占据了统治地位，多元变一元，百家争鸣成了“一言堂”，墨家及其科技思想更是屡遭排斥。从汉代开始，墨家消失，墨学断绝，《墨经》散佚。古华夏文明中的科学“种子”，尚未发芽就早逝于这片土壤之中！

古代的中医和生物研究

扁鹊是春秋时期中国医学的代表人物。与之后的华佗、张仲景、李时珍，并称中国古代四大名医。扁鹊开启了中国医学的先河，发明了望、闻、问、切四大中医诊法。

春秋时期出现了专职的医生队伍。公元前 6 世纪至前 5 世纪的秦国还有了专门的宫廷医疗机构，医学开始从巫术中分离，还逐渐形成专科。传统中医理论逐渐形成，中医著作也陆续问世。

《黄帝内经》是现存最早的中医理论著作，对后世中医学理论的奠定有深远的影响。《神农本草经》则是现存最早的中药学专著。这两部中医经典，虽然最后成书的朝代有所争论，但其中包含了不少春秋战国时期医者们的贡献，是无可非议的事实。

人体解剖学，是现代西方医学研究的基础之一，但你可能没有想到，在 2500 多年前的春秋时期，中国人已经开始实施尸体解剖，这使得人们

对脏腑的认识有了显著的进步。扁鹊和虢中庶子的对话中已明确提到了“脏”“五脏”的概念，并有“胃肠”“三焦”“膀胱”等名称。《黄帝内经》中的《肠胃篇》，记载了当时对人体消化道各个部分，包括唇、口、舌、咽、胃、大肠、小肠的位置、长度、广度、重量、形状、递接关系等的了解。此外，《经筋篇》《骨度篇》《脉度篇》等，也都是当时实际解剖观测结果的记述，对人体骨骼、血管等均有长度、重量的详细记载，且和近代解剖学的数据相差不远。

春秋战国时期，人们对动植物也有丰富的观测和研究记录。在《诗经》以及农事历书《夏小正》等古籍著作中，可见一斑。

《诗经》中记录了 2500 多年前产于我国黄河流域的绝大部分动植物。其中提到的植物有 143 种，动物 109 种，共 252 种。从《诗经》中还可看出，虽然当时还没有关于动植物系统分类的记述，但已经有了动植物品种的概念。

农事历书《夏小正》记录每个月的星象供务农用，同时也记载了当月各种植物的生长形态、动物的活动习性等，为中国最早的生物学文献，是一部可贵的物候学重要典籍。

综上所述，中国春秋战国时期的物理、生物、医学等方面的科学发现，还有天文方面的观测记录均为世界首次。因此，当时中国科学的发达程度可以与古希腊相比较，但后来却“东西分流”，走向了完全不同的方向。古希腊的科学思想发展成为现代自然科学，这是现代人类宝贵的共同财富；古代中国产生的华夏文明，虽然延续继承至今，其中并没有科学。春秋战国时期曾经一度辉煌的科学显然已经消失而不复存在了。消失的原因是多方面的，也值得我们每个关心中国科技发展的人研究和深思。

3 科学和逻辑 >>>

古希腊科学属于自然哲学的“思辨”模式，而古中国春秋战国时期的科学是追求“实用”的实验观测模式，两者是互补的，但均不同于现代科学的“逻辑实证”模式。

现代科学的要素有二，一是“逻辑”，二是“实证”。古希腊和古中国，都已经产生了逻辑，古希腊的思辨，固然少不了逻辑；春秋战国时的百家争鸣，各个学派也往往需要靠逻辑来取胜。而欧几里得几何中的“形式逻辑体系”是西方科学发展的基础之一。那什么是“形式逻辑”呢？

形式逻辑和经典科学

通俗地说，形式逻辑就是我们一般人脑海中所理解的“逻辑”。经常听见人们争论时会说“符合逻辑”或“不符合逻辑”，比如 A 批评 B “你说乌鸦是黑的，但又说抓到了一只灰色乌鸦，你这不是不合逻辑、自相矛盾吗？”。另一个例子，大家辩论张三是不是好人还是坏人，有人说张三利用权势贪污上亿元，当然是个坏人；但又有人认为张三孝顺父母，重视家庭，本质上是个好人。

换言之，我们对逻辑的粗略理解大概就是：一就是一，二就是二，黑白分明，没有含糊。这也就是所谓的“形式逻辑”。因此，本书后文中，一般仅以“逻辑”一词代替形式逻辑，但在需要强调的地方，也冠以“形式”二字。

古希腊哲学家、“希腊三贤”之一的亚里士多德，最先将逻辑用几条简单的规则（同一、矛盾、排中三大基本规律）表述出来，使逻辑正式成为一门学科。这 3 条基本原理及简单解释如下。

同一律：“A 等于 A”。解释：张三就是张三，不是别人。

矛盾律：“A 不等于非 A”。解释：张三不可能“既是张三”又“不是张三”，不能自相矛盾。

排中律：“A 或者非 A，没有其他”。解释：这人要么是张三，要么不是张三，没有中间状态。

基本规律念起来有点拗口，解释后却很容易明白，但你又可能会感觉“全是废话”。

正是这些貌似“废话”的几条原则，构成了逻辑学，两千年之后，德国哲学家莱布尼茨（就是与牛顿同时代先后发明微积分的那位）又加上了一条逻辑的基本规律：充足理由律。意思是说任何逻辑表述，都需要“充足的理由”。

古希腊数学家欧几里得发表的《几何原本》，开创了逻辑证明的先例，使数学从此进入公理系统与逻辑证明时代。两千年后的英国数学家乔治·布尔，建立了一系列的运算法则，利用代数的方法来研究逻辑问题，成为我们如今所熟悉的布尔代数。

欧几里得几何的逻辑证明体系，是 2300 多年来数学的基础，也是现代科学发展的基础。布尔代数则是在如今现代文明社会中大放异彩的数字计算及人工智能技术的基础。由此可知逻辑对科学发展的重要性。或许由于科学正是在逻辑思想的基础上发展起来，并且已经有了超过 2000 多年的漫长历史，因而人们一般认为：逻辑（即形式逻辑）是与自然的客观规律一致的，是外在客观世界本身的模式。再进一步推论下去：如果一个理论不符合逻辑，违反了上述的基本逻辑规律，人们便会判定那不是一个好的科学理论。

欧氏几何的意义绝不在于几何本身，而在于它的公理化方法。就像建房子一样，基石不过是数目不多的几块砖，便支撑了一栋高楼大厦。欧氏几何从 5 条简单公理出发，使用周密严格的逻辑推导和证明，却能得

科学是什么

出成百上千条定理来。如果稍微改动一下作为“基石”的公理，像罗巴切夫斯基和黎曼所做的那样，便意想不到地产生了另类的几何，建成了完全不同于欧氏几何的漂亮大厦！虽然在当年看起来，非欧几何不过是某种思维游戏，因为被它们描述的结果，有违人们通常看到的世界之几何常识。但之后又出乎人们意料，黎曼几何在广义相对论中找到了用武之地！

于是，人们惊奇地发现，逻辑，以及在其上发展出来的理性推导的方法，居然有如此巨大的威力！使用这种思维方式，可以从几条事实出发，建立起一个庞大的理论系统。如今，我们纵观现有的物理理论，从牛顿力学、麦克斯韦电磁论到相对论，几乎都是遵循类似的原则，再经过大量实验或观察的验证建立和发展起来的。对此，爱因斯坦深谙其道，因此他才会强调逻辑是西方科学发展的基础之一。

辩证逻辑和量子物理

可以说，物理学家们用理性逻辑推理的方法，加之庞大而系统的实验资料，建造了包括广义相对论在内的整个经典物理大厦。即使是其他领域的科学理论，或者物理中争议不断的量子力学，也都是将实验证实、符合因果及逻辑自洽等，看作基本的科学规范。

然而，当更深一步考察形式逻辑时，你会发现它并非完美无缺，而是有许多矛盾之处。形式逻辑遵循“非此即彼”之类的逻辑法则，但事实情况往往并非如此。世界并不是“非黑即白”那么简单的，如果绝对不允许有自相矛盾的情况出现的话，这种逻辑必然不能正确地反映世界的客观规律。举一个简单的例子，现实生活中，我们都觉得很容易区分“孩子”和“成人”，但仔细一想并不尽然，如果没有给出一个年龄界限的话，你说谁算孩子谁算成人呢？即使规定了一个年龄界限，也并不能准确地反映一个人在

成长过程中的客观身体差异，因为身体的变化是因种族、环境条件等因素而不同的，也是因人而异的。

再如，如果说到“科学的诞生”，从形式逻辑的观点，你首先需要定一个科学诞生的“判据”，定义好什么是科学，或者说你必须规定某个时间，即某年某月某日某时刻，科学诞生了。在此时刻之前，没有科学，诞生之后，才能谈科学。但是，这些都是难以实现的，因为科学是逐渐产生的，很难如同母亲“十月怀胎一朝分娩”那样，有一个精确的诞生时刻。因此，在讨论此类问题时，便往往会被质疑为说法“不符合逻辑”。

尽管逻辑学家们可以辩解说，逻辑只是一种“抽象和升华”了的思维方法，仅此而已，不用太较真。但根据人们的日常经验，总感觉这种思维过程中一定少了点什么，于是，另一种与形式逻辑不同的辩证逻辑思想应运而生。

辩证逻辑的基本特征是把事物看作一个整体，从运动、变化及相互联结的角度来考察事物。不同于形式逻辑的“非此即彼”，而是认为“你中有我、我中有你”，事物都能一分为二，对立面并非绝对的，它们可以在一定的条件下互相转化。

历史上，许多文明中都有比亚里士多德创立的形式逻辑更为复杂的推理系统，其中包含着原始的辩证思想。公元前6世纪的印度、公元前5世纪的中国和公元前4世纪的希腊，都存在古典辩证逻辑的例子。例如，古代印度哲学家用辩证的思想来探讨生与灭、有与无、一与异等对立概念的相互关系。古代中国哲学家的思维方法，除了墨子之外，几乎是往辩证方向“一边倒”。《老子》中说：“有无相生，难易相成，长短相形，高下相倾”；《庄子》中说“彼出于是，是亦因彼。”此类模棱两可的名言在中国历史上比比皆是，充分反映了古中国哲学家崇尚辩证的特殊风格。马克思曾说古中国文明是“早熟的小孩”，不知是否与此特征有关？

科学是什么

古文明中虽然不乏辩证思想，但较完备的辩证逻辑体系直到 18 世纪才正式被德国哲学家黑格尔，用“正、反、合题，否定之否定”等概念，提出并加以总结。其实，如今看来，辩证逻辑不过是形式逻辑突破自己的限制自我否定而将“逻辑”这一概念扩充的结果。要正确地理解辩证逻辑，首先必须要学习形式逻辑。就像恩格斯将两者比喻为初等数学和高等数学的关系那样，如果连初等数学都不懂的话，又何以妄谈“高等数学”呢？

辩证逻辑认为“亦此亦彼”。如在原来的形式逻辑中，张三不是好人就是坏人，非此即彼。但辩证逻辑认为张三可以既是好人又是坏人。这种说法听起来有点像量子物理中的观点：光和其他基本粒子，都既是粒子又是波，具备波粒二象性，此外，也颇像那个令人恐怖的“既死又活”的薛定谔的猫！

难怪爱因斯坦始终无法认可量子力学中“二象性”的说法，更不接受哥本哈根的诠释，尽管他自己就是量子理论的创始人之一。爱因斯坦的思路完全是经典的、形式逻辑的，也正因为如此才有了著名的世纪论战。

对量子理论的深刻认识，也许能激发人类思维过程的再一次突破。或者可以猜测：辩证逻辑未来的进一步发展和完善，有可能将人类对思维过程及客观规律的认识上升至新的高度，从而有可能解决量子力学中诸如“薛定谔的猫”之类的“佯谬”？

芝诺悖论

大家都熟悉芝诺悖论。古希腊对辩证思维的认识，主要表现在论辩术中，其中芝诺所在的埃利亚学派是主要代表。当年的希腊哲学家们热衷辩论的问题之一是世界的本源问题。也就是我们在前面一节中谈及的泰勒斯及其弟子们探索的问题。埃利亚学派的领袖人物是芝诺的老师巴门尼德，巴门尼德认为万物本源是永恒静止的实体“一”。芝诺为了捍卫老师的理论

而进行“狡辩”，认为“多”和“运动”都只是表象。为了论证这点，芝诺提出 4 个悖论。其中最著名的是“阿基里斯追乌龟”和“飞矢不动”悖论。

从哲学的角度看，芝诺悖论本身是一种辩证思维，揭示了人们思维中一些似是而非或似非而是的矛盾现象。

有趣的是，芝诺为了否定“运动”而绞尽脑汁想出的悖论，却没有达到否定运动的目的，也不可能达到其目的。因为事实上，空中的箭的确在飞行，阿基里斯也必定能追上乌龟。不过，从辩证法的观点看，芝诺悖论开创性地揭示了运动本质中隐藏着的矛盾：在任何时刻，运动的物体存在于空间的某一点，但又因为“移动”而不在这一点！运动本身正是由于这矛盾双方的对立统一而产生的。距今约 2500 年的芝诺悖论，体现了令人惊奇的辩证思维，所以，亚里士多德和黑格尔都称芝诺是历史上第一位辩证法家。

芝诺悖论涉及极限概念，后面谈到微积分时还会讨论。

中国人的思维特点

众所周知，东西方文化是不同的。中国人与西方人在人生观、价值观、家庭观、教育方式、文学艺术、心理素质、道德伦理、处世哲学等方面都有很大的差异。究其根源，这些差别在很大程度上源于思维方式的不同。中国人的思维方式基本上属于直观的形象思维，而西方人更重视逻辑思维。从逻辑学角度来看，中国人偏向于辩证逻辑，而西方人更偏重形式逻辑。

辩证逻辑和形式逻辑各有所长，但是，笔者认为，形式逻辑是基础，走向辩证可算是锦上添花。缺乏形式逻辑的辩证会流于“狡辩”。例如，孩子学步一定是从“走”开始，然后才能学会“跑”。又如，学高等数学固然好处多多，但首先仍然得把初等数学的基础打好，否则不可能真正掌握高

科学是什么

等数学。中国人的思维方法貌似辨证有余，却独缺形式逻辑。

为什么中国人的思维方式会有如此现象呢？这应该有其历史根源。

回溯到古代中国，形式逻辑的产生基本是与欧洲同时的，即中国的春秋战国时期。在《墨经》中，对于逻辑已有了系统的论述。一般认为，古代中国的墨家逻辑、古希腊的亚里士多德逻辑、古印度的因明逻辑，并称为世界古代（形式）逻辑三大源流。

墨家活跃的年代比亚里士多德还要早几十年，但他们已经对逻辑学的基本定律有所认识。例如：

同一律，“彼此可，彼彼止于彼，此此止于此。”

矛盾律，“彼此不可，彼且此也，此亦且彼也。”

排中律，“彼此亦可，彼此止于彼此，若是而彼此也，则彼亦且此，此亦且彼也。”

充足理由律，“以说出故”“故，所得而后成也”。

《墨子》中的“墨辩”是建立在科学精神之上的形式逻辑体系，但是，与中国古代尚未萌芽的科学种子一样，随着“罢黜百家，独尊儒术”的提出，墨家逐渐销声匿迹，形式逻辑在中国的发展也陷入停顿。逻辑思维推理的方法，是构建科学理论框架的必要条件。这就是为什么中国在几千年的封建社会中，不乏工匠技术型的小发明，却鲜有自创的科学理论。中国人缺乏逻辑思维的习惯，是一个主要原因。

之后一段时期，中国民众的思维方法将辩证法当作科学的逻辑而大力批判形式逻辑，使大家形成一种错觉，以为形式逻辑是落后的。这种认识阻碍了国人对本民族思维模式的重新思考，从而也在一定程度上阻碍了中国科学技术的进步。

4 从毕达哥拉斯到微积分 >>>

数学王子高斯有一句名言“数学是科学的皇后”，17 世纪英国哲学家弗朗西斯·培根也说过“数学是打开科学大门的钥匙”。可见数学对科学的重要性。下面我们就来探求一下，数学与科学的渊源到底有多深，数学是如何当上“皇后”的。

毕达哥拉斯之打铁声启发灵感

古希腊科学家们寻求万物的本源，泰勒斯认为本源是水，他的门徒们中，有人认为是“无形”，有人认为是气。赫拉克利特则说是火，毕达哥拉斯的观点最为奇特，他认为万物之本源是“数”。

毕达哥拉斯生于现属希腊的萨摩斯岛，离现属土耳其的米利都很近。据说毕达哥拉斯是米利都学派阿那克西曼德的学生，也曾直接受到泰勒斯的影响。这位古希腊的哲学老祖宗建议他前往埃及。后来，毕达哥拉斯不但旅居埃及，还去各地漫游，传说也曾到过印度，受到各方文化的影响，最终形成了他的“万物皆数”的观点，他对数字的喜爱和崇拜几乎到了走火入魔的地步，他创立的毕达哥拉斯学派把数的作用发挥到了极致，堪称“拜数字教”。

毕达哥拉斯发现了“毕达哥拉斯定理”，即“勾股定理”。古代巴比伦人和中国人都在更早的年代知道了勾股数，例如，公元前 18 世纪的巴比伦石板上，就已经记录了各种勾股数组，最大的是“18 541, 12 709, 13 500”，即： $18\,541^2 - 12\,709^2 = 182\,250\,000 = 13\,500^2$ 。之后中国的算经、印度与阿拉伯的数学书中，也均有所记载。但发现了勾股数，还不等于发现了勾股定理。作为普遍定理的发现，人们认为应当归功于毕达哥

科学是什么

拉斯，而勾股定理的证明，则始于毕达哥拉斯，再由后来的欧几里得给出了清晰完整的证明。毕达哥拉斯学派还研究过正五边形和正十边形的作图，发现了黄金分割比例（1 : 0.618）。

毕达哥拉斯本人不仅是杰出的哲学家和数学家，对音乐也造诣颇深。

传说毕达哥拉斯有一天走在街上，被铁匠铺此起彼落、悦耳而和谐地打铁声所吸引，驻足聆听数日，由此而启发了灵感并进行研究。毕达哥拉斯光顾铁匠铺，对大小（质量）不同的铁锤发出的不同频率的声音进行观察和实验，发现了铁匠打铁的节奏遵循简单的比例规律，也就是如今音乐中称之为“和声”的规律。毕达哥拉斯继而萌生了宇宙中万物都遵循某种简单规律而互相“和谐”的概念，他认为，我们周围物体，包括地球、太阳及其他天体，一切运动和变化都是由一定的、永恒的数学规律控制的。所以，毕达哥拉斯学派认为，世间万物来源于“数”，数字的组合造就了物体运动的秩序，神圣而完美的几何图形（例如圆形和球形）是构成天体形状的最佳选择。将这个概念应用到我们脚下的土地上，毕达哥拉斯第一次提出大地是球体这一概念。

从铁匠铺得到灵感之后，毕达哥拉斯又迷上了琴弦振动规律的研究，很快地发现了琴弦定律，即“在给定张力作用下，一根给定弦的频率与其长度成反比”：

$$f \propto \frac{1}{L}$$

式中， f 为频率， L 为长度。

你可能看不上琴弦定律给出的这个简单公式，但如果你想想，毕达哥拉斯比我们早了 2500 多年，与你所具有的知识之丰富当然不能同日而语。如果将毕达哥拉斯的工作与他的前辈泰勒斯等米利都人比较，已经前进了一大步。毕达哥拉斯学派不仅仅满足于寻求万物的本源，而是将自然界运

行的规律作为探求的目标。更为难能可贵的是，上述琴弦定律，将物理现象之规律用数学公式表达出来，开创了物理与数学结合的先例。

由此可见，毕达哥拉斯的琴弦定律，堪称一个里程碑式的公式，难怪俄裔美籍物理学家乔治·伽莫夫赞扬毕达哥拉斯这个定律，是理论物理学发展的第一步！因为它首次把物理规律用数学公式描述了出来，或者说，是物理系统的第一个数学模型。

毕达哥拉斯的思想深深地影响了柏拉图，以及一大批后来的古希腊哲学家和科学家。毕达哥拉斯为古希腊科学的种子注入了数学的基因，是促使科学和数学联姻的第一人。

无理数在悲剧中诞生

毕达哥拉斯当时认为是世界本源的“数”，指的是整数和分数。毕达哥拉斯认为“1是所有数的生成元”，但是，1只能生成整数，显然还存在不是整数的数，这是很容易理解的。比如说，当你对本棍长度进行测量时，无论你以什么样的“尺子”作为“1”（单位），总会有木棍的长度无法用整数表示出来。于是，毕达哥拉斯说：那没有问题，不能用整数表示，那就用分数表示呀。分数不就是两个整数的比值吗？产生了两个整数，就能产生分数，就能产生任何比例。总而言之，这位古希腊的数学教皇认为：“宇宙的一切都归结于整数和整数之比”，整数和分数能解释一切自然现象，充分体现了自然规律的数学之美。毕达哥拉斯学派认为，两条几何线段长度之间的比值，其结果必然是整数之比。他们说，如果两根木棍的长度互相不是倍数的话，那么就会存在第三根木棍，用它做尺子，就能同时测量这两根木棍而得到两个整数 m 和 n 。毕达哥拉斯学派称这个性质为两个长度的“可通约性”。实际上就是说，两木棍的长度之比 $a=m/n$ ，是一个整数或分数（有理数）。出于他们对宇宙万物和谐美的崇拜，他们认为任何两条

科学是什么

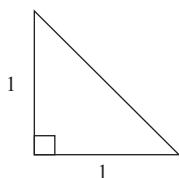


图 1-4-1 $\sqrt{2}$ 的平方根

线段都是可通约的。

上文中我们曾经说到，毕达哥拉斯发现了以其命名的毕达哥拉斯定理的一般形式。如果应用此定理到两个直角边为 1 的等腰直角三角形（图 1-4-1），其斜边的长度是多少呢？根据毕达哥拉斯定理，这个长度的平方等于 2。显然，我们不可能找到一个满足条件的整数，但是，是否能够找到一个分数适合该条件呢？这个课题引起了毕达哥拉斯一个学生希帕索斯的兴趣并进行了深入研究。

假设 2 的平方根为 a ，那么，它可以写成一个分数 $a=m/n$ 吗？根据毕达哥拉斯的理论，答案是肯定的，因为除了整数分数，没有其他的数。因此，希帕索斯开始时信心满满，下定决心一定要把结果找出来。他折腾了很长时间，用不同的整数对 (m, n) 试来试去，最终却一无所获。试验失败令希帕索斯对 a 这个数的性质产生了怀疑，2 的平方根好像不可能表示成一个分数！

于是，希帕索斯想到了使用反证法，也就是说，首先假设 a 是一个分数，然后看看是否会得到不合理的结果。例如，假设 $a=m/n$ 中的 m 、 n 是化为最简分数比后的整数，即 m 、 n 互质，根据勾股定理， $1^2+1^2=a^2=(m/n)^2=2$ ，化简后为 $m^2=2n^2$ ，从这个算式可以看出， m^2 是偶数，那么 m 也是偶数，因为 m 、 n 互质，所以我们得到第一个结论： n 应该是奇数。

然后，因为 m 是偶数，所以可以表示为 $m=2b$ (b 是自然数)，代入 $m^2=2n^2$ 中，得 $4b^2=2n^2$ ，或 $n^2=2b^2$ 。那么便可得到， n^2 是偶数， n 也一定是偶数。这个结果与第一个结论“ n 应该是奇数”矛盾！

所以，希帕索斯用毕达哥拉斯学派经常使用的反证法，证明了 $\sqrt{2}$ 不能表示成两个整数之比。2 的平方根既不是整数，也不是分数，那它是一个什么数呢？希帕索斯为发现了一种新类型的数而兴奋，却使老师惊慌不已，

因为这个发现让毕达哥拉斯感觉自己原来宣扬的“万物皆数”的理论似乎失去了根基而岌岌可危，于是，他便将希帕索斯囚禁起来，最终甚至下令将这个“叛逆学生”丢进大海淹死了。（注：历史上对希帕索斯的死因有不同的说法。）

尽管这是个数学史上的悲剧，但结果导致了无理数的发现，并且引发了所谓的“第一次数学危机”。后来（公元前 370 年左右），仍然是毕达哥拉斯学派的一个弟子——欧多克索斯，将“可通约”的概念扩展到“不可通约”，为无理数找到了存在的基础，暂时解决了这个矛盾。

无理数的发现过程，使古希腊科学家明白经验的局限性，只有严密的推理和证明，才能确保理论的可靠。不过，与此同时，无理数让希腊数学家“心生畏惧”，认为这种数只有几何才能描述，并因此限制了古希腊代数学的发展，几何学的地位被提升，此后的欧几里得的几何公理体系便是建立在这些思想认识的基础上，也使古希腊科学家走向了逻辑论证之路，成为科学之先驱者。

也可以说，发现无理数的“悲剧”，对科学的发展有着不可磨灭的贡献。体现了数学对科学极其重要的作用，没有数学的发展，现代科学的进步是不可能的。

数字的概念原本是从人类的生活和生产活动开始的。人类为了更好地生存，发展了农耕文化，他们需要记录日期和季节，计算谷物数和家禽数，还需要度量长度、面积、体积等。随着文明的发达，整数和分数的概念都毫无困难、顺理成章地发展起来。例如在上文例子中所说的，为了测量两根木棍的长度，人们可以建立起整数及分数的概念。但是，仅仅凭着这种物理测量的实践活动，无论你的测量技术达到多么的精确，也不可能产生出类似 $\sqrt{2}$ 的这种“无理数”的概念来。“无理数”概念的建立，完全不同于有理数，它需要数学的抽象、思维的升华，包含着“无穷”“极限”等概念。

科学是什么

数学家柯西说过：“无理数是有理数序列的极限”。这也就是数学对科学的作用之关键所在。看起来，科学的这位数学“皇后”真不简单！甚至可以说，数学思维高于科学，数学自身可以靠逻辑发展，而科学不行，数学是科学不可或缺的一部分。

微积分是数学上的伟大创造，对科学发展异常重要。人类最终发明了微积分，也算是思维发展过程中的一个奇迹。微积分的发展过程基本有三步：极限的概念、求积的方法、微积分思想。前两步的发展历史都可远远追溯到 2000 多年前的古代，最后一步，微分积分思想之统一，两者互逆关系的建立，则要归于 17 世纪牛顿和莱布尼茨两位科学家的功劳。

古代的极限概念

极限是微积分学中最初的也是最重要的核心概念。古希腊时代，芝诺提出的几个著名悖论，首先揭示了无限和连续等概念所引起的人类认识上的困惑，也为极限思想的萌芽。

大约比芝诺晚 100 年，中国春秋战国时代的庄子提出“一尺之棰，日取其半，万世不竭”，可以说这句话已经包含了现代数学中无限数列收敛的概念。“万世不竭”，说明序列是无穷的，但加起来仍然只是“一尺之棰”，说明了该无穷级数的收敛性。

虽然极限和无穷的思想在古希腊和古中国都已经萌芽，但理论的完善却是到了 19 世纪的事，得归功于法国数学家柯西和德国数学家魏尔斯特拉斯的卓越工作。并且，直到现在，数学家们对与极限相关的“实无穷、潜无穷”概念，仍然有所争执，可见极限概念的深奥，以及“无穷”在人类思想进展中造成的混淆。剖析一下芝诺悖论的历史，可加深对极限概念发展和完善过程的理解。

有关阿基里斯与乌龟的悖论，芝诺说：如果乌龟一开始就以（1m）领

先于跑得最快（比如：比乌龟快 1 倍）的阿基里斯，那么阿基里斯永远也追不上乌龟。为什么呢？因为要想追到乌龟，阿基里斯必须先到达乌龟所在的（1m）处；而等阿基里斯到了 1m 之后乌龟已经又前进了一段距离（ $1/2m$ ）。然后，阿基里斯到了 $1/2m$ 后乌龟又前进了 $1/4m$ ……如此无限地进行下去，阿基里斯和乌龟之间永远保持一段距离。

正如罗素所说，这个悖论为有关时间、空间、无限大、无限小的理论研究提供了丰富的土壤。在试图给这些出人意料的结论以合理解释的过程中，极限及无穷的概念被深入研究下去，理论也因此逐步发展起来。

亚里士多德的解释是：追赶者与被追者的距离将越来越小，所需的时间也越来越少，无限个越来越小的数加起来的和是有限的，所以阿基里斯可以在有限的时间内追上乌龟。阿基米德更进一步，使用类似现在对几何级数求和的方法，证明了上例中的距离之和 $1+1/2+1/4+1/8+\cdots$ 或者对应的时间之和，是一个有限值。

具有现代数学知识的读者，一眼就看出上一段中两位古希腊学者的解释是不严谨的。以上的结论是建立在递减几何级数收敛的基础上。如果对于级数不收敛的情况，他们的解释便不能成立。例如，对不收敛的调和级数，可以这样叙述芝诺悖论：

阿基里斯始终比乌龟跑得快，但二者的速度不是固定的，按如下规律变化：乌龟开始时领先 1m，之后，阿基里斯走完这 1m，乌龟前进 $1/2m$ ；阿基里斯再走完这 $1/2m$ ，乌龟前进 $1/3m$ ；阿基里斯到 $1/3m$ 后乌龟又前进 $1/4m$ ……如此无限地进行下去，阿基里斯和乌龟之间永远保持一段距离 $1/nm$ 。并且，虽然调和级数 $1+1/2+1/3+1/4+\cdots$ 的每一项都递减，可是它的和却是发散的。所以，总时间也是发散的，结果为无穷大，即阿基里斯追上乌龟的时间为无限大，因此，他不可能在有限的时间内追上乌龟。

也就是说，在如上的调和级数情况下，尽管阿基里斯总是比乌龟快，

科学是什么

但就是永远追不上乌龟。不过，这种情形下，无“悖论”可言。所以，我们将它排除在芝诺悖论的范围以外不予考虑，仍然只研究收敛级数的情形。

如果仅限于收敛级数的话，芝诺悖论是否就已经被完美解决了呢？某些数学家和逻辑学家认为并非如此。因为根据他们对无限的理解，无限不是一个存在的实体，只是一个不断逼近却永远完成不了的过程，因为这个过程完成不了，阿基里斯便不可能到达那个极值点，既然路线中有某个点永远都到不了，又如何可以追上乌龟呢？芝诺悖论仍然是“悖论”！

以上述方式理解无限的观点，被称为“潜无穷”；反之，将无限作为实体，便是“实无穷”。两种观点的争论从古希腊一直持续至今。

曾经看到有人举一个通俗例子来理解两者的区别，不一定准确，但写在下面给诸位作参考。幼儿园两个孩童拌嘴争执比较谁的财富更多：“我有100块”“我有1000块”“我有10 000块”，最后，一个孩子想出另一种说法：“不管你有什么，我永远比你多1块！”，这个似乎包含了某种永远达不到的潜无穷思想。

无穷的观点之“实”“潜”之分，从古希腊、古中国就开始了。例如，中国的惠施曾说“至大无外，谓之大一；至小无内，谓之小一。”，意思是“无穷大之外别无他物，无穷小之内不可再分”，这是一种实无穷的观点。而“一尺之棰，日取其半，万世不竭。”中的“万世不竭”，又显然是“永远不会完”的潜无穷观点。

后来的数学大师们也有不同的观点。高斯认为无穷只是潜在的，坚决反对实无穷；康托尔支持实无穷；希尔伯特则认为，在分析中我们研究的潜无限，不是真的无限，真的无限是实无限。

不过，“潜无穷或实无穷”毕竟是数学或逻辑上的争论。笔者认为，对与实证密切相关的科学而言，只有实无穷，没有潜无穷，因为宇宙中的一切都是现实存在的。那么，科学是否就不需要潜无穷了呢？也不能这么说，

因为数学对科学的发展往往有出乎人们意料的效果。考虑一下现实世界中似乎并不真实存在的“虚数”概念对科学的作用，便能理解这点了。

总之，芝诺悖论涉及极限概念，数学解答涉及有关实无限与潜无限的讨论。无限过程无法完成潜无限，可以完成实无限，数学中的极限、微积分都建立在实无限概念上。故对潜无限来说，极限概念不成立，只能无限逼近。这些数学概念超出本书范围，在此不作详细介绍，更多有关芝诺悖论、实无限与潜无限的内容，请参考维基百科及相关书籍。

古代求积例子

现在的微积分课程，都是从极限开始，引入导数、微分，后来再学到积分。但在人类思维发展的漫长历史中，却很早就有了类似积分法的应用。

在现实科学应用中，导数和微分表示的是曲线的斜率、运动物体的速度等，是与“动态”“变化”有关的事物，而积分法则方便用于计算物体的面积、体积等物体的固有性质。人类对客观世界的认识显然是始于固定的事物，所以，对积分法的需求和探究从远古时候就开始了。

古希腊的科学始祖泰勒斯就研究过球的面积、体积等问题。公元前5世纪，古希腊数学家安提丰及欧多克索斯提出了“穷竭法”，之后成为一种几何方法，用来求圆形的面积和立体的体积，可算是积分法的先驱。

古希腊最伟大的数学家阿基米德对微积分的贡献毋庸置疑。他利用和发展了穷竭法，计算过抛物线下的弓形面积、球和球冠表面积、双曲线旋转所得图形的体积等，他在解决这些问题过程中的若干思想，真正成为积分学的基础。

几乎同时或稍后，古代中国的微积分概念也在独立发展，可说其成果毫不逊色于西方。三国时期刘徽研究的割圆术，用以求圆面积和方锥

科学是什么

体积，是一个突出的例子。祖冲之用割圆术求得圆周率，精度很高（在 3.141 592 6 与 3.141 592 7 之间）。

17 世纪的意大利几何学家卡瓦列里（早于牛顿时代 50 年左右），对微积分贡献了一个著名的不可分量方法，或被称为卡瓦列里原理。中国人不十分熟悉这位高人，其原因之一是该原理的基本思想早在 1100 多年之前就被中国数学家发现了，那是祖冲之和他的儿子祖暅。所以，在中国，卡瓦列里原理一直被称为祖暅原理。

卡瓦列里认为，线由无穷点构成，面由无穷线构成，立体是由无穷个平面构成。点、线、面分别是高一维度的线、面、体的不可分量。祖暅原理则提出“夫叠碁成立积，缘幂势既同，则积不容异。”，就是说，如果所有等高处的截面积都相等，二立体的体积必相等。“夫叠碁成立积”一语中，则包含了与卡瓦列里类似的“不可分量”的思想。

根据祖暅原理（或卡瓦列里原理），体积的计算可以由计算许多个小体积之和而得到；面积的计算则由计算许多个小面积之和而得到。这个原理表现了朴素的积分思想，是定义微积分的前提之一。之后，又有无数数学家（欧拉、拉格朗日等）在极限和无限的概念上做了若干杰出的工作，最后一步则由牛顿和莱布尼茨完成。

微积分的发明

祖暅原理的出现远远早于西方，这点令华夏民族骄傲，却又再一次给我们提出一个令人迷惑的问题：微积分的系统理论为什么没有早早地诞生于中国呢？

考察牛顿和莱布尼茨研究微积分的过程，是与当时科学技术发展的需求密切相关的。数学促进了科学思想的发展，科学的发展又反过来促进数学，这两者相辅相成、互相促进，密不可分。特别是牛顿发明微积分，一

开始在很大程度上是为了解决他所热衷的运动学问题。

人类早期研究的问题大多是“静态”的，诸如上面所说的求面积、求体积的问题，积分思想帮忙解决了不少难题。17 世纪初期，伽利略和开普勒在天体运动中所得的一系列观察和实验结果，涉及物体的动态规律，导致科学家们对新一代数学工具的强烈需求，也就是说，如何从大量的数据中，抽象出物体的精确而瞬时的、随时间变化的动态运动规律来呢？

在伽利略的时代，已经有了速度的概念。那时的科学家们已经知道运动距离与运动时间相除得到速度。如果物体运动的快慢始终一样，就叫作匀速运动，否则就是非匀速运动。伽利略在实验中发现，在地球引力持久作用下物体的运动，快慢并非始终一致的，开始时下落得比较慢，后来则下落得越来越快。伽利略又发现，无论是在下落的开始还是最后，速度增加的效果是一样的，这也就是我们现在所熟知的说法：“地面上自由落体的运动是一种等加速度运动。”

速度、加速度、匀速、匀加速、平均速度、瞬时速度……现在学生很容易理解这些名词，在当时却曾经困惑过像伽利略这样的物理大师。从定义平均速度到定义瞬时速度，是概念上的一个飞跃。平均速度很容易计算：用时间去除距离就可以了。但是，如果速度和加速度每时每刻都在变化的话，又怎么办呢？

可以相信，开普勒在总结他的行星运动三定律时，也曾经有类似的困惑。开普勒得出了行星运动的轨迹是个椭圆，他也认识到行星沿着这个椭圆轨迹运动时，速度和加速度的方向和大小都在不停地变化。但是，他尚无限的概念，也没有曲线的切线及法线的相关知识，不知如何描述这种变化，于是，便只好用“行星与太阳的连线扫过的面积”这种静态积分量来表达他的第二定律。

伽利略和开普勒去世后，两位大师将他们的成果和困惑留在了世界上，

科学是什么

激励像牛顿和莱布尼茨这样杰出的物理学家和数学家，对新一代数学工具发起了总攻。

牛顿使用他发明的这个强大的数学工具，建立了牛顿力学的宏伟大厦，同时也发展完善了“变量”的概念，为微积分在各门学科的应用开辟了道路。在人类社会从农业文明跨入工业文明的过程中，微积分起到了决定性的作用，包括数学、物理、化学、天文学、地理、生物基础科学，以及工程应用、计算机和信息等技术学科，所有的现代科学技术都离不开微积分。

就数学理论而言，牛顿和莱布尼茨的最大功绩是把两个貌似毫不相关的问题：微分学的切线问题和积分学的求积问题联系在一起，开创了微积分理论。

可以说，牛顿是在他对物理科学规律研究的驱动下发明微积分的。换言之，这个数学成就多少包含了某些“服务于实用”的因素。中国从古到今的学术研究不是有明显的“实用”倾向吗？为何没有为解决实用的问题而发明微积分呢？

需要澄清的是，当我们说：微积分的出现直接来源于物理学和工程方面的需求，说的是科技理论上的需求，并非小工匠式技术发展的需求，尤其不是那种被利益所驱动的“实用”之需求。中国古代数学，过分拘泥于直接使用而企图快速得利，并不重视理论思维，也不重视抽象的数学观念和数学体系，连函数的概念都没有抽象出来，更无法发明系统的微积分了。这也就是为什么有人说中国古代并无“数学”，只有“算学”的原因，这种说法或许有一定的道理。当然，算学也有它先进发达的一面，下一节将给予简要介绍。有关更详细的“中国算学”，请参考数学家吴文俊的书。

5 古中国的算学 >>>

数学毕竟是既迷人又有趣的思维活动，中国古代许多数学家的研究当然也不会完全是被“实用”目的所驱使，也有出自于对完美的追求和对研究的兴趣。例如，祖冲之将圆周率精确到 8 位有效数字，在当时就不见得有多少实用价值。

我们无法得知古代数学家的主观愿望，但由于中国封建社会的客观现实，中国人脑海中根深蒂固的“学以致用”的传统观念，使得中国古代数学呈现的最大特点是“实用为目标，计算为中心”。

以《九章算术》为例可见一斑。所谓“九章”，指的是 9 个分类标题：方田、粟米、衰分、少广、商功、均输、盈不足、方程、勾股。其中不少题目都是直接取自于实际生活的具体场景。例如，“方田”是关于田亩面积，“粟米”关于粮食交易，“衰分”关于分配比例，“商功”关于工程，“均输”关于税收，等等。可见解决实际问题是该书的主要目标。

而究其具体内容，《九章算术》处理计算了大量复杂的问题。前面所列的 9 个分类中，包括了 246 个问题以及 202 个“术”。其中有多种几何图形的体积算法、面积算法等；有开平方术、开立方术；二项二次、二项三次等方程的解法；还有应用勾股定理解决问题的各种算法等。从这些例子可看出其以计算为中心的特点。

中国古代数学中并非完全没有理论；反之，有很多密切联系实际的理论。特别是有不少与算法相关的推理、证明及理论。中国古代的许多算法，稍加改变就可以用到现代的电子计算机上。这也是为什么将其称为“算学”的原因。

现代计算机中使用的二进位制思想，据说起源于《周易》（也叫《易经》）

科学是什么

中的八卦法，早于德国数学家莱布尼茨 2000 多年。

古中国算学具有独创性，自成一个完整体系，可总结如下三大特色。

实用性：其计算问题大部分都取材于天文、历法、农业、测量、工程等实用领域。

机械化：朝适用于某些机械运算的方向发展，以便可以使用算筹、算盘等为工具来实现运算。例如，算盘就是当时的计算机，珠算口诀就是计算程序。

代数化：将实用问题（包括几何问题）转化为方程组，然后再转换成刻板的、机械的、用算具能实现的程序（例如逐次消元程序）来求解。

中国的算学当时也影响到一些周边国家的数学发展，如日本的和算、朝鲜半岛的韩算以及越南的算学等。

中国著名数学家吴文俊，早年在拓扑学上做出了奠基性的工作，后来又继承和发展了中国古代数学的传统的算法化思想，专攻几何定理的机器证明，在此领域颇有建树。他认为中国古代数学有两大特色：构造性和机械化。构造性是指从某些初始对象出发，通过明确规定的数学操作来展开理论，例如《九章》中的方程术、开方术等都是这样。机械化，就是刻板化和规格化。实际上，这两个特性都有利于解析问题发展算法，便于使用现代电子计算机做数值计算。

中国古代数学的机械化思想与古希腊数学中的公理化思想，是数学发展过程中的两套马车，都促进了数学的发展。古希腊数学以几何为主，古中国数学多用代数方法，几何比代数更容易公理化，代数比几何更容易发展成机器使用的算法。几何直观、形象且易于被众人接受，代数在非专业人士眼中则显得枯燥。可以说当时的两者各具优缺点。但从历史发展之事实而言，西方的公理化思想很幸运，碰到了因工业革命而诱导出来的“实

践精神”，与之结合而最后诞生了现代科学。然后，在科学技术的发展基础上，人类发明了现代计算机，后又发展了比当年古中国数学中的算法高明不知多少倍的各种计算机语言和算法。

而代表古中国机械化数学思想的“算学”，则命运不佳，只在算盘这样的工具上施展功夫，虽然也绵延了上千年，但没有突破、难以发展。

6 古希腊人的宇宙观和天文学 >>>

从现代物理观点，天文学和宇宙学是两码事，但在古代，研究的学者都是同一批人，两者也没有明确界限，天空就那么几个天体，也就是人类的整个宇宙。天文学多一些天体运动规律有关的计算，宇宙学多一些想象成分以及宇宙来源和演化的猜测。但我们在叙述中有时可能有所混淆。

希腊人很早就认识到地球是个“球”，这恐怕与他们是海洋民族有关。

古人如何判断地是平的还是圆（球面）的呢？那时候没有精密的观测仪器，只能靠眼睛远远地望过去。例如，设想你站在一望无际的平原上，或置身于一望无垠的大海中，如果地是一个无限伸展的平面的话，你的视线可以一直伸展过去，物体将越来越小，看起来连续地变小直到你的眼睛看不见它为止 [图 1-6-1 (a)]，但不应该是如同我们看见的太阳那样“上升、下降和消失掉”。如果地球是圆球，地面向下弯，你的视线却弯不了，那么，你只能看见某个圆圈以内的东西 [图 1-6-1 (b)]，那个圆圈就是我们平时所说的地平线。

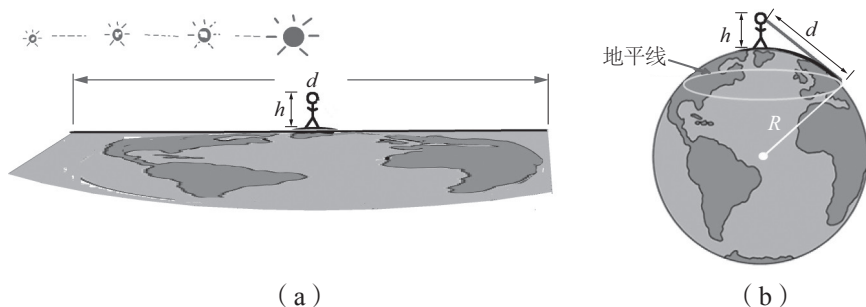


图 1-6-1 地球是平面和球形的区别
(a) 地是平的；(b) 地是弯的

人们在生活实践中也都见过“地平线”，当你坐船航行在大海上，视野中是一望无际的海洋，一直延伸到很远的有一条线的地方，那是天和水的交接之处。你转一个圈，发现四面八方的线连在一起形成了一个圆圈。早上，太阳从圆圈的东方某处升起，黄昏时分掉向圆圈的另一边。这个标志着天地相接处的圆周，就是地平线。简言之，地平线就是人们的“可观测区域”与“不可观测区域”的分界线。图 1-6-1 (b) 中的圆周将地球表面分成了两个部分，观察者可以看得圆周以上的地球表面及其他物体，但看不到圆周以下的东西。

航海远行是海洋民族的生活方式，每天都能在广阔无垠的大海上观察地平线附近发生的事情。例如，你发现远方来了一艘帆船，你会先看到桅杆顶上的一小点，然后发现桅杆的长度逐渐增加，最后才慢慢地看到船身，就像从海下面升上来一样，其原因就是因为海平面有弧度。

活动在陆地上的中国人就没有那么容易“极目楚天”了，树木和山丘挡住了他们的视线，恐怕很少看见地平线。但其实，从太阳的上升下落也很容易得出地面是弯曲球形的结论，否则，你如何解释太阳黄昏时就掉下去看不见了，而早上又升起来了呢？

无论如何，希腊人很早就建立了日、地、月这些天体都是球形的概念，并且试图建立天体运动的数学模型。米利都学派的阿那克西曼德，曾经绘制了世界上第一张全球图。他认为天空是一个完整球体，围绕着北极星转，而地球则是一个自由浮动的圆柱体，而稍后的毕达哥拉斯第一次提出地球是球形。

毕达哥拉斯学派的菲洛劳斯比他的前辈更上一层楼，他甚至认为地球不是宇宙的中心，而只是一个穿过空间自转运行的普通球体。菲洛劳斯提出，宇宙中共有 10 个天体。中间的叫作“中心火”，其他 9 个围绕着“中心火”运行。因为古人认为 10 才是完美数，而当时天文观测到 8 个星体

科学是什么

(日、月、地、金、木、水、火、土), 所以菲洛劳斯虚构了“中心火”和“对地星”这两个额外的天体。“中心火”不能被人直接看到, 但人们看见的太阳是它对这火团的反射。“对地星”呢, 就更看不到了, 因为它永远藏在太阳的另一面, 总是位于与地球相对应的位置上。

除了宇宙观之外, 古希腊的天文学也很发达。古希腊天文最耀眼之处是它的数学特征, 古希腊天文学家都是杰出的数学家。正因为如此, 古希腊天文学不仅有天象变化星球移动的观察记录, 还有不少以数学为基础的、设想天体如何运动的理论模型。

柏拉图时代的数学家、力学家和天文学家欧多克索斯, 是第一个尝试对行星运动进行数学解释的人。

欧多克索斯使用一种同心球模型来描述星体的运动。例如, 太阳、月亮的运动分别用 3 个同心球的合成运动来描述。五大行星——金、木、水、火、土, 则分别用了 4 个同心球。

在数学方面, 欧多克索斯证明了圆锥体体积是圆柱体的 $\frac{1}{3}$, 比阿基米德早很多。

稍后一些的另一位天文学家阿波罗尼奥斯, 也是几何学家, 对圆锥曲线进行了深入的研究。他著有《圆锥曲线论》八卷, 其中详细讨论了以不同平面切割圆锥面得到的各种不同类型的圆锥曲线的特征, 为 1800 多年后开普勒、牛顿、哈雷等学者研究行星和彗星轨道提供了宝贵的数学基础资料。

阿波罗尼奥斯在天文学中提出的本轮模型, 成为希腊天文学最终的顶峰成果。他最早提出行星运动的“均轮和本轮”模型, 之后, 该模型被托勒密发表在《天文学大成》一书中, 并用以解释当时所知五颗行星的逆行, 以及从地球上观察行星显而易见的距离变化等天文现象。在哥白尼之前的天文学家都一直使用这个被阿波罗尼奥斯开创的“托勒密模型”。

希腊科学家很早就开始利用计算和测量估计地球、太阳、月亮的大小，以及它们之间的距离。充分体现出当时天文学家高超的数学水平。下举一例。

埃拉托斯特尼曾经设计出经纬度系统，计算出地球的直径。他曾经在亚历山大图书馆担任管理员和馆长，与阿基米德是好友。亚历山大图书馆位于埃及的亚历山大港，两者均因马其顿王国国王亚历山大大帝（亚里士多德的学生）而得名。

在他居住的亚历山大港附近的赛伊尼（现为埃及的阿斯旺）有一口深井，当一年之中夏至那天的正午时分，太阳位于天顶，光线直射入深井中，水中明显可见太阳之倒影。这时候，对于相距约 500mile（805km）外的亚历山大港，太阳却偏离天顶一个角度。如果在地上立个标杆，测量标杆影子的长度便能测得这个偏离角，结果为 7.2° 左右，然后，埃拉托斯特尼经过简单的计算而得到地球周长，见图 1-6-2。

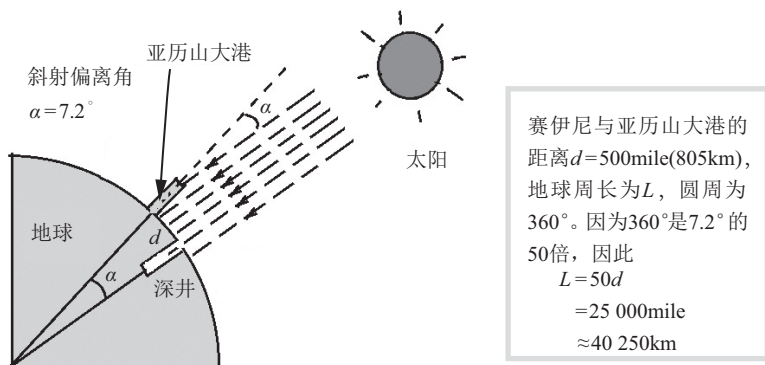


图 1-6-2 古希腊人测量地球大小

现在普遍认为，当时埃拉托斯特尼计算出的地球周长在 39 690 ~ 46 620km 之间，作为 2000 多年前的结果，与现代测量实际周界 40 008km 比较，算是很不错了。

科学是什么

古希腊及希腊化时期，还有不少其他的数学家加天文学家。

宇宙学方面，古希腊有好几个天文学家偶然有过“太阳是中心”的思想。例如，公元前 400 年左右的菲洛劳斯的“中心火”模型，但最早有所记载、正式提出日心说的是阿里斯塔克斯。他在计算了地球和太阳大小及两者距离后，发现太阳比地球大很多，所以提出了日心说，因此被称为“希腊的哥白尼”。

塞琉西亚的塞琉古是希腊化时期的巴比伦天文学家。他继承了古希腊天文学的成果，也提倡日心说，并解释了潮汐形成的原因。塞琉古第一个说明了潮汐是由月球吸引产生，且潮汐的高度与月球和太阳的相对位置有关。

喜帕恰斯（或译希帕求斯）记载了 1000 多个恒星的位置和亮度，将这些星星从 1 等星到 6 等星分成 6 个等级。有“方位天文学之父”之称。

皮西亚斯是古希腊的航海家，他为了科学目的而航海探险到靠近北极，观察到北极极昼现象，发现夜晚只有两个小时，是第一位记载极昼、极冠的人。

最后的托勒密集希腊天文学之大成写成书，相关内容将在后文中介绍。

7 古中国天文学和宇宙观 >>>

中国古代天文学

中国古代的天象记录十分发达，的确是一种与“天文”有关的活动，却不是现代意义上的“天文学”。中国古代有当时世界上最丰富、最有系统的天文观测记录，记载了不少当时看起来十分“奇异”的天象。用当今的观点，重新考证这些几千年前的观测记录，可以为现代天文学研究提供丰富宝贵的历史资料。下面列举日食、哈雷彗星、超新星记录的例子。

(1) 有关日食的记录：历史上最早的日食记录出现在公元前 2137 年 10 月 22 日，夏代仲康的《书经日食》。据说从公元前 1400 年左右开始，中国已有规律的日食与月食记录，例如，前 776 年，中国《诗经·小雅》中描述：“十月之交，朔日辛卯，日有食之……”。

(2) 有关哈雷彗星的记录：如《春秋》中描述，“鲁文公十四年（前 613 年）七月，有星孛入于北斗。”这是哈雷彗星的最早记载。到 1910 年为止，中国史书对哈雷彗星出现的记载多达 31 次。（注：哈雷彗星的回归周期是 75.3 年，从公元前 613 年到 1910 年，出现 33 ~ 34 次。）

(3) 有关新星或超新星的记录：公元前 532 年，“周景王十三年春，有星出婺女”，这可能是新星的记录。最早的超新星观测记录：SN 185（或 RCW 86）。东汉中平二年乙丑（185 年 12 月 7 日），《后汉书·天文志》记载：“中平二年（185 年）十月癸亥，客星出南门中，大如半筵，五色喜怒，稍小，至后年六月消”。

宋朝时期（1006 年 4 月 30 日），观察到 SN 1006 爆发，由司天监周克明等人发现，称作周伯星。在《宋史·天文志》中记载：“景德三年四月戊寅，周伯星见，出氐南，骑官西一度，状如半月，有芒角，煌煌然

科学是什么

可以鉴物，历库楼东。八月，随天轮入浊。十一月复见在氏。自是，常以十一月辰见东方，八月西南入浊。”

1054 年 7 月 4 日，产生蟹状星云的一次超新星爆发，这次客星的出现被中国历史上宋朝的天文学家详细记录，《续资治通鉴长编》记载：“至和元年五月己酉，客星晨出天关之东南可数寸（嘉祐元年三月乃没）。”

.....

中国古代有如此准确又完整的天文观测，却并不是基于对天体间的位置关系及其运动规律得到的认识。这些观测资料仅仅是记录下来的数据，没有升华到“天文学”的理论。当时观测天象的目的，既不是为了探索大自然的秘密，也不是为了帮助农业，预测旱涝洪水或任何气象灾难，而完全是为封建帝王服务的。中国的历代帝王都迷信于“天数”，企图利用天象服务于人事。因此，中国古代的天象观测主要有两个目的，一是造历，二是星占。中国天文学落后的另一个原因是因为古代天文学被皇权垄断，禁止民众私自研究天文，如有犯者，罪同造反，将被斩首。当时从事天文观测的人，原本不算科学家，而是占星家一类的人士，或者是管理历法和星象的官员。十分有趣的是，这些人绝对想不到，他们观察到且记录下来的天象，如今成为现代天文学研究的宝贵财富。从这个意义上来说，他们当之无愧地可以被称为“天文学家”。所以，中国古代没有天文学，却有天文学家。

例如，战国时代（公元前 4 世纪）齐国天文学家甘德，据说用肉眼观察到了伽利略 1000 多年后用望远镜看到的木星的卫星木卫三。甘德与同时代的魏国天文学家石申合著的《甘石星经》，是仅晚于巴比伦星表的星表。

中国古代宇宙观

古中国宇宙学的思想距离现代学说不太远，中国古代有好几个宇宙模

型：宣夜说、盖天说、浑天说，并称为“伦天三家”，其中浑天说是最接近地心说的理论。西汉民间天文学家落下闳（公元前 156—前 87），是浑天说创始人之一，曾创立了中国古代第一部有完整的文字记载的新历法，制造观测星象的浑天仪。东汉的张衡（78—139）解释和确立了浑天说，他在《浑天仪注》中说：“浑天如鸡子。天体圆如弹丸，地如鸡子中黄……”认为天是一个圆球，地球在其中，就如鸡蛋黄在鸡蛋内部一样。张衡还认为“天球”之外还有别的世界：“宇之表无极，宙之端无穷”，这是无穷宇宙的观点。虽然上文中说“大地像蛋黄”，但深究下去，浑天说表示的只是“天把大地像蛋黄一样包在当中”的意思。张衡仍然认为“天圆地方”，大地是平面的，周围是水，平面的大地浮在水上。中国人从未发现大地是球形的，也未能提出一个基于逻辑、数学的宇宙体系。浑天说离地心说也许只有一步之遥，但终究也没有跨过去。

8 古代教育 >>>

教育的作用

教育对科学的作用不言自明。没有教育的发达，便没有科学的传播和继承。长江后浪推前浪，科学是无数科学家一代一代前仆后继努力的结果。从亚历山大大帝去世那年到罗马帝国建立（公元前 323—前 30），被称为希腊化时期。人们通常认为这期间是古希腊文明的衰落期，但它在科学史中却仍然占有异常重要的地位，原因之一要归功于教育。

米利都学派之后，古希腊哲学中心移向雅典，值得一提的人物是苏格拉底和他的学生柏拉图以及柏拉图的学生亚里士多德。这 3 位雅典人被誉为“希腊三贤”。

学校和研究所以是教育的重要机构，柏拉图在公元前 387 年，在雅典办起了柏拉图学院，当时的名字就是 Academy，这个词在大多数情况下被翻译为“科学院”。

柏拉图学院是欧洲第一所综合性学校，教授哲学和自然科学，同时也是一个著名的研究机构，吸引了许多学者和文人。后来，亚里士多德仿效老师，创办了吕克昂学院，又称为逍遥派学校。当时的雅典有四大哲学学校，除了柏拉图的“科学院”和亚里士多德的“吕克昂学院”之外，还有伊壁鸠鲁学派的“花园”和斯多葛学派的“柱廊”。亚里士多德的吕克昂学院延续了数百年，柏拉图学院更是经久不衰，据说其存世之久超越任何一所欧洲大学。

科学从希腊本土真正向希腊以外转移，是始于世界上第一个国家资助的科学研究机构——埃及的亚历山大博物馆（也称图书馆）。这个机构虽然位于埃及，却是由古希腊人创建的。当年的亚历山大成为马其顿国王之后

开始东征，征服波斯，进攻印度，所向披靡，战无不胜，使当年希腊的领土从爱琴海几乎快要伸展到了喜马拉雅山脚。亚历山大大帝在东征途中的尼罗河口建立了亚历山大城，没料到最后，这位年轻的军事天才壮志未酬身先亡，33岁时就因病死于巴比伦。亚历山大大帝暴病而亡后，其好友和追随者托勒密在埃及称王，建立了颇有希腊化风格的托勒密王朝，资助建立了亚历山大博物馆。建立该馆的另一原因是因为亚历山大大帝在东征时，从各国夺得了大批艺术珍品和文献资料交给老师亚里士多德研究，这些丰富的资料成为博物馆的第一批宝贵财富。

亚历山大博物馆除了研究哲学和文学艺术之外，也展开各项科学相关的学术活动，探讨数学、天文学、地理、物理、医学、解剖学，等等。以下列出4位在亚历山大博物馆从事过科学研究的大师名字，大家就不难理解该博物馆对科学发展的巨大贡献了。这4位学者是：物理学家阿基米德、几何学家欧几里得、天文学家阿里斯塔克斯、解剖学家希罗菲卢斯。

以《几何原本》闻名于世的欧几里得，曾在亚历山大博物馆长期从事教学、研究工作，建立了与科学发展密切相关的几何公理化逻辑体系。

数学家兼物理学家阿基米德诞生于西西里岛的贵族家庭，父亲是天文学家兼数学家。阿基米德11岁时到亚历山大城学习，也曾曾在亚历山大博物馆进行研究。阿基米德把数学和物理紧密结合在一起，并进行实验和应用。阿基米德在75岁高龄时，正值罗马军队进犯他的祖国叙拉古，一代数学物理大师惨死于罗马士兵的刀剑下。

史上有记载的首位创立日心说的天文学家阿里斯塔克斯，也曾曾在亚历山大博物馆做研究。阿里斯塔克斯早就认识到地球和行星一边自转一边围绕太阳转的规律。他尝试测量地球和太阳间的距离，提出地球体积小于太阳的观点，可惜直到80岁时在亚历山大城过世，他的看法也未被人们广泛接受。大约1800年之后，他的日心说理论才被哥白尼发展和完善。

科学是什么

在亚历山大博物馆做过研究的第4位著名学者是希罗菲卢斯，他继承了被尊为“医学之父”的古希腊医生希波克拉底的传统，重视解剖实践，对人体进行了系统、直接、精密的观察。据说他通过尸体解剖描述了大脑的血管分布，对眼球的内部结构进行了仔细解剖，命名其中的网状结构为视网膜。他第一个描述了十二指肠的结构、动脉的波动与心脏搏动的密切关系。一般认为，希罗菲卢斯开创了神经解剖学，证明了神经从脑部起源，再到眼睛及其他器官。

总之，教育使得希腊化时期在科学发展中起到了继承和传播的作用，使科学传统得以一代一代薪火相传：从泰勒斯，到雅典的三贤，又到亚里士多德的学生亚历山大大帝，再到托勒密建立世界第一个以国家资助的学术科研机构，这里可清晰地见证教育对科学承上启下的巨大作用。在希腊化时代，科学发展除了得益于东西方欧亚非三大洲古老文明的交汇，也得益于亚历山大及其后继者以国家资金对科技活动的热心赞助。

如果将学校和经费看作教育的“硬件”，教育者所代表的教育思想便是教育的“软件”。

一个人的智力来自两个方面：先天和后天，先天靠遗传，后天靠教育。教育者的工作便是根据被教育者的先天因素因材施教，启发诱导，最大限度地发挥他们自己的特长。例如，美国哈佛大学的一位心理学和教育学的教授加德纳提出，人有多种不同方面的先天智能，包括语言、逻辑数学、音乐、运动、空间视角、人际交往、内省等。每个人的才华都不一样，都是这多种能力的唯一组合。那么，这些因素中，哪些与科学相关？哪些与工程有关？哪些与管理有关？哪些与艺术有关？这都是教育者应深入思考的问题。

就我们讨论的科学而言，什么样的教育思想、体制、方法、理念，才最适合激发人们的求知欲和好奇心，最利于科学的发展和进步呢？这些方

面东西方的观念和做法自古就是有所不同的。

古希腊的教育理念

教育在古希腊，扮演着重要的角色。古希腊教育有两个突出特点：斯巴达的军事体育训练和雅典的文化科学教育。

斯巴达和雅典是古希腊两个不同的城邦，分别代表两种极端的教育模式：斯巴达培养勇敢的战士，而雅典培养合格的有文化有知识的公民。

苏格拉底虽然对科学没有任何直接的贡献，但他的教育思想却让科学得益匪浅。这位西方“教育始祖”，不仅以其教育理念传承至今，而且教育出了在各方面超越他的两位徒子徒孙。

苏格拉底出生于一个普通公民家庭，父亲是石像雕刻匠，母亲是助产士。他早年对自然科学（几何和天文）颇感兴趣，但后来放弃了希腊哲学探究自然规律和万物本源的传统，转向研究伦理道德和从事教育。因为苏格拉底热爱雅典，热爱他的祖国，认为道德和教育对国家更为重要。苏格拉底以教导雅典青年，帮助他们探索人生目的为职志。不过，颇具讽刺意味的是，这位爱国者最后被雅典法庭以不信神和腐蚀青年等罪名判处死刑。苏格拉底接受判决，拒绝逃亡，从容赴死。这位流芳百世的哲学家和教育家，当时却不得不以生命的代价来捍卫他所提倡和信奉的“遵守雅典法律”的道德原则。

前面已经介绍过，在亚里士多德的众多学生中，出了一位伟大而成功的军事统帅：亚历山大大帝。这位大帝支持老师的工作，对科学也算有间接的贡献。

吾爱吾师，吾更爱真理

古希腊哲学（或科学）精神的重点是“自由”，这里的自由一词有多

科学是什么

方面的含义。例如，相对于代表神祇的宗教，自由意味着无神；在探索自然规律时，自由意味着不是借助非自然力量，而是从自然本身来解释现象；相对于权威，自由意味着勇于质疑和自我思考；对科学而言，自由者凭兴趣做原创研究，不模仿或抄袭，不被权威束缚，不受功利的引诱。

对教育者而言，自由有双重意义，一是自己的自由思想，二是给学生以充分思考的自由。第一点反映了学者自身的治学特色和风度修养，第二点表现的则是教育者的教授方法和教育理念。

例如，苏格拉底将自己的教育思想用母亲的职业“助产”一词来说明。意思是说，教育的目的不是灌输知识，而是像一个“助产婆”，需要使用助人产生知识的“精神助产术”。苏格拉底认为，知识无须被灌输，人们从实践中可能已经具备了某种知识，类似于十月怀胎一样。教育者的作用就是帮助受教育者通过自由思考而诞生思想、诞生知识，这是古希腊自由精神在教育中的体现。

为实现他的“助产术”式教育，苏格拉底不教给学生现成的答案，而是经常采用“对话诘问”的形式。以提问的方式让学生发现问题、揭露矛盾。

学生可以与老师的想法不一样，可以怀疑。老师提出的问题也不必有任何“标准答案”。这样才能培养出善于思考、超越老师的学生。因此，苏格拉底教出了一个与其不同的学生柏拉图。

柏拉图并不专注于发展老师的哲学，而是在自然科学领域有其独特的贡献，他将理性加上数学的逻辑分析，应用到天文学并推及整个宇宙，开创数学宇宙观。他设想宇宙由两种直角三角形产生出4种正多面体，对应于4种元素的微粒：“火”是正四面体，“气”是正八面体，“水”是正二十面体，“土”是立方体，另有正五边形形成的十二面体，形成天上的第五种元素“以太”……这些观点如今看来是错误和可笑的，但他开放大胆的几何设想和逻辑推导，对科学的发展产生了深远影响。

柏拉图的学生亚里士多德在科学成就上更胜一筹，他的学术领域包括物理学、逻辑学、经济学、生物学等方面，在中世纪的科学史中起着巨大作用，影响力一直延伸至文艺复兴时期。

亚里士多德有句名言：吾爱吾师，吾更爱真理。这句话准确地体现了古希腊时代直到今天传承下来的西方教育理念。

古代中国也有伟大的教育先祖：孔子。以孔子为代表的中国教育与如上所述的西方教育有何异同点呢？

孔子与苏格拉底

孔子门生三千，贤者七十二，创立了影响深远、2000 多年都不倒的儒家学说，不愧为中国历史上伟大的思想家、政治家，也是教育之祖。

孔子与苏格拉底有不少相同之处，他们都出生于平常人家，都爱读书，都重视修身养性，都从事伦理道德方面的教育，也都使用启发式的教育方法。孔子宣称“有教无类”，苏格拉底提倡平等教育；两人的思想留存都是由学生以对话方式记述的，希腊有柏拉图的《对话录》，中国有以孔子弟子们之记叙为素材的《论语》。

但如果仔细推敲，孔子与苏格拉底的教育思想有若干不同之处，传承下来便造就了不同的东西方教育。

以上说过，希腊教育名言之一是“吾爱吾师，吾更爱真理”，中国教育似乎更讲究师道尊严，中国人有句名言“一日为师终身为父”，表现中国学生对老师的崇敬之心。

孔子教学生的目的是传授“知识”，苏格拉底是帮助学生产生“思想”。

中国教育似乎也提倡启发式，但这种启发的目的是想方设法地让学生更好地理解老师的意图，更快地接受老师的思想，而不是发展自己的思想，更不允许违背老师的意愿。因此，孔子的方式难以教出超越自己水平的学

科学是什么

生，事实上也是如此，未见孔子的徒子徒孙中有超过他的。

总的来说，苏格拉底教人以疑，孔子教人以信。因此，古希腊教育方式适宜培养思考者、科学家，古中国教育方式适合培养管理者或技术操作人员。

虽然中国的教育方法也有其所长，但毫无疑问，西方教育方式更有利于科学的传承和发展。我们只有认识到这点，才能吸取西方教育的优点，克服中国教育中自古以来的不足之处，改进中国的教育，以利于科学技术的需求和发展。

9 亚里士多德的宇宙 >>>

苏格拉底不研究科学，但他于科学的深远影响有两点，一是他的独特的反诘法有利于启迪科学思维，二是他教出的两名学生柏拉图和亚里士多德，对科学有杰出贡献。

柏拉图的哲学是艺术和科学进步的基础。柏拉图崇尚理性，特别重视数学，更推崇几何，认为其抽象性和普遍性能把人的心灵引向真理。在他创办的阿卡德米亚学院门口写着：“不懂几何者不得入内”。柏拉图用数学来研究科学，特别是天文学和宇宙学，他认为造物主已经为世界制定了一套完美而理性的方案，世间万物遵循这套方案各自沿着规定美妙地运转。从现代科学的观点来看待柏拉图，他强调的数学有助于催生科学，但他太过沉迷于所谓“永恒的形式”的宇宙观，认为我们现实中感觉到的一切只不过是这种永恒形式反射出来的阴影。因而，柏拉图忽略了科学认知的另一方面：人类必须从观察自然界中物体的运动、万物之变化来理解大自然，从而才有可能进一步地探索宇宙，甚至改变大自然。也就是说，柏拉图不重视实践和实证，这显然是与我们如今所提倡的科学精神相违背的，不利于科学的发展和进步。

相反，亚里士多德则对科学实践颇感兴趣。他观察地上奔跑的野兽、水中的鱼和青蛙、天上飞翔的鸟儿，也注意植物生长和季节变化……并将这些如实记载下来，一如百科全书。口才极佳的柏拉图呢，却更像是一位为理想而吟唱的诗人。这种差异也有可能与他们的出身和少时的家庭环境有关。柏拉图出身富裕的贵族家庭，据说是古雅典国王的后裔，童年时代的经历可能更类似于中国古代帝王之家的那些“精通琴棋书画，分不清五谷杂粮”的公子哥儿。而亚里士多德的父亲是希腊宫廷御医，虽然家境也

科学是什么

颇为富有，但从医之人的家庭应该有重视实践活动的传统。

可举一例说明师徒两人追求科学的方法和思想理念之不同。例如，柏拉图认为，世间是先有“马”的理型，然后才有感官世界里所有的马匹，因此，具体的马不重要，它们仅仅是理型马的影子。而亚里士多德则认为他的老师把概念弄反了。他认为所谓理型马，是人类看到许多马之后抽象出来的东西，没有各种各样的具体的马，又何来理型马。

总结亚里士多德对科学的贡献及影响，有如下几点：

亚里士多德是个难得一见的博学家

亚里士多德从小热爱学习，涉猎广泛，之后慕名来到柏拉图创办的学院更是如鱼得水。那年，亚里士多德 18 岁，柏拉图 60 岁，这一对师生是一老一少的忘年交，十分投缘。在那儿，亚里士多德孜孜不倦地学习数学和自然科学，他的兴趣和研究领域都非常广泛，数学包括算术、平面几何、立体几何等，自然科学则几乎包括了当时的所有学科，如物理、天文、生物、逻辑等，此外还有经济、政治、历史等人文学科。

亚里士多德在柏拉图学院一学就是 20 年，直到柏拉图 80 岁高龄去世，亚里士多德才离开雅典，之后去过小亚细亚等地，最后回到自己的祖国马其顿王国。

来到家乡的亚里士多德从哲学世界回归大自然，耐心地观察蜜蜂、青蛙、老鹰、海豚、鲨鱼等动物，不时还自己动手进行一些解剖和实验，由此而探索了许多与柏拉图的理念世界不一样的另类知识。

公元前 343 年，亚里士多德接受了马其顿国王的邀请，成为后来号称“马其顿雄狮”的亚历山大大帝的老师。当时的亚里士多德 42 岁，亚历山大 13 岁。师生俩的友谊维持多年，直到亚历山大 33 岁突发暴病英年早逝。在亚里士多德的教育和思想的影响下，亚历山大即使在称霸半个世界后，仍然不忘恩师，对亚里士多德专注的科学事业十分关心，利用从征战所到

达的世界各地搜索掠夺的宝物和样本，为亚里士多德提供丰厚的人力、财力资源，例如，据说当年亚历山大安排了数千人，分别进行狩猎牧羊、饲鱼养鸟等农牧业活动，使亚里士多德能在广泛的领域，有效地完成诸多科学研究。此外，亚历山大用资金支持亚里士多德建立吕克昂学院，从事教学和研究。因为亚里士多德喜欢带着学生，在校园里美丽的花园和林荫道上一边漫步一边讲课，因而人们给这群思想家们取了一个浪漫的名字——逍遥学派。

细致的观察和广泛的实践，使亚里士多德成为一位 5000 年人类历史上罕见的博物学家，写下了大量的著作。据说，他的著作有 400 ~ 1000 种，现存的只有 47 种，主要有《工具论》《形而上学》《物理学》《伦理学》《政治学》《诗学》等，可算是古代的百科全书。涉及的范围包括数学、物理学、天文学、生物学、医学、逻辑学、心理学、经济学，以及政治、伦理、诗歌、戏剧、人类历史学、自然历史，等等。

亚里士多德是使科学从哲学分离出来的第一人

正因为亚里士多德涉猎了如此多的研究领域，他才能发明了各种科学学科并加以分类。

这其中的大部分学科，在此之前被统一叫作哲学，从亚里士多德时期开始，这些学科才第一次独立出来。亚里士多德认为，人类的知识结构首先可以被分为三大类：理论、实践和创制。理论科学是指单纯地探索知识的学科；实践科学指导人的行为；创制科学是指制作出产品的学科，包括工程、建筑等。我们现在所谓的“科学”，应该属于“理论”这一大类中，但与另外两类有密切的关系。

在三大结构类别的基础上，亚里士多德命名了多门学科，并以科学的方法阐明了各学科的对象、简史和基本概念。2000 多年后的今天学者，许多学者都承认亚里士多德是自己所研究学科的重要创始人和奠基者，其

科学是什么

中包括生物学、心理学、逻辑学、伦理学、政治学和经济学等。

亚里士多德不愧是御医的后代，他对生物学和医学都颇有研究。他的生物学著作有《动物志》《动物的繁殖》《论动物的结构》等，人们尊称他为生物学的鼻祖。他率先按照生物本身的特性来研究丰富多样的大自然，在动物的分类、胚胎发育、解剖等方面都有一定的贡献。

亚里士多德探索灵魂与肉体的关系，认为两者是统一的、不可分离的，他的《论灵魂》是历史上第一部论述各种心理现象的著作。

亚里士多德是当之无愧的逻辑学创始人。他总结出三段论的逻辑推理方法，他的著作《工具论》是形式逻辑的经典教科书。

亚里士多德也涉猎政治、法律、文学、美学、伦理、历史等人文学科。诸位可能听过“人天生是政治的动物”“法治优于人治”这些话，便均是亚里士多德著作中的名言。他列出六种政体（君主、贵族、共和、僭主、寡头、平民）并详细分析它们的利弊。亚里士多德认为，政府制定法律必须具有正义性、普遍性、平等性、稳定性、灵活性与权威性，对老百姓而言，则需要服从和遵守法律。亚里士多德人文方面代表著作有《诗学》和《修辞学》等。

从《形而上学》一书中，也可以看到亚里士多德在数学方面的思考，他建立了极限、无穷数等相关的概念。但因为亚里士多德并不赞同柏拉图的数学至上，所以在数学方面只是谈谈概念、浅尝辄止，并无深究。事实上，柏拉图的数学理念及亚里士多德的实践精神，正是西方科学诞生的两个基础。

亚里士多德研究了物理学许多方面，并著有《物理学》一书，如从现代物理的角度看，其中可能几乎找不到一句话是正确的。他不承认有真空存在，提出物体落地规律：物体越重下落越快，以及组成宇宙的“五种元素”、地球中心说……全都被后来的物理理论所否定。

现在看来，亚里士多德的《物理学》，更像是一部哲学著作，他没有计算，只有议论，是集古希腊物理知识的大成而写的。尽管如此，亚里士多德仍然被认为是一个早期物理学的领路人，因为他提倡对自然规律的深度思考。我们不能要求 2000 多年前的古人超前解决现代物理学的问题。

将各类自然科学从哲学分离出来了，哲学理所当然地也就成为一门独立的学科。在哲学方面，亚里士多德认为知识起源于感觉，实物本身包含着自然界赋予它的本质，宇宙万物遵循着一定的规律而运行，但并不是被神所控制的。

对中世纪阿拉伯科学的影响

西方历史中的“中世纪”，指的是公元 5 世纪到 15 世纪，也就是从公元 476 年西罗马帝国的崩溃到公元 1453 年东罗马帝国的灭亡这段时期。

有人将这段时期称为科学的“黑暗期”，也许那时（希腊化之后）的科学的确显得有些“灰溜溜”的，但并未灭亡。这颗将发芽的种子，或者说是等待成熟的胚胎，在西方世界列强的争斗和扩展中，被迫迁徙，四处流浪。也可以说，科学是在寻找适合它生根发芽的优良土壤。

随着西罗马帝国的灭亡，大量希腊罗马典籍被毁，少数幸存的则流入了东罗马帝国。因此，一些亚里士多德著作被翻译成了叙利亚文。著名的柏拉图学院在 529 年，被罗马帝国皇帝查士丁尼一世下令关闭。

之后，阿拉伯帝国成为一个空前繁荣、不可一世的强大帝国。当年，继穆罕默德之后的宗教领袖，即历代的哈里发，对科学思想算是相对开明的，对各种文化也是采取宽容和兼收并蓄的态度。当时在巴格达建立的图书馆及翻译机构“智慧宫”便是一例。智慧宫聚集了大批的文人学者，使巴格达成为举世瞩目的“智慧之城”。学者中不乏科学及哲学人士，他们将大量的希腊罗马典籍包括亚里士多德著作翻译成阿拉伯文并加以

科学是什么

注释。

因此，亚里士多德的科学研究成果得以在阿拉伯世界发扬光大，也相应地推动了阿拉伯科学技术的发展。中世纪的科学在伊斯兰世界继续下去，像明月一样反射出古希腊科学的光芒，照亮了欧洲的黑暗期，使科学得以传承和继续发展，直到后来又回到欧洲，成长为现代的参天大树。

10 托勒密的天空 >>>

对天文学感兴趣的人大都会知道托勒密这个名字，他是古希腊天文学的集大成者，他的著作《天文学大成》在哥白尼之前的 1000 多年中被奉为经典。

克罗狄斯·托勒密既是数学家，又是天文学家和地理学家。在天文学和宇宙学方面，他是地心说的代表人物。尽管地心说后来被日心说代替，但在当时是颇具进步意义的。

古希腊人认为圆是最完美的图形，便自然地用圆来描述行星的运动。那时候人类观察到的离地球近的天体，实际上是五大行星加上太阳和月亮，这里用“行星”一词作代表。因此，天文学家首先给每一个行星都赋予一个叫“本轮”的圆圈[图 1-10-1(a)]。人类立足于稳固而牢靠的地球上，每天晚上都看到各个天体循环往返，于是，便给整个宇宙图像加上一个大大的圆圈，众星都沿着它转动，这就是均轮。

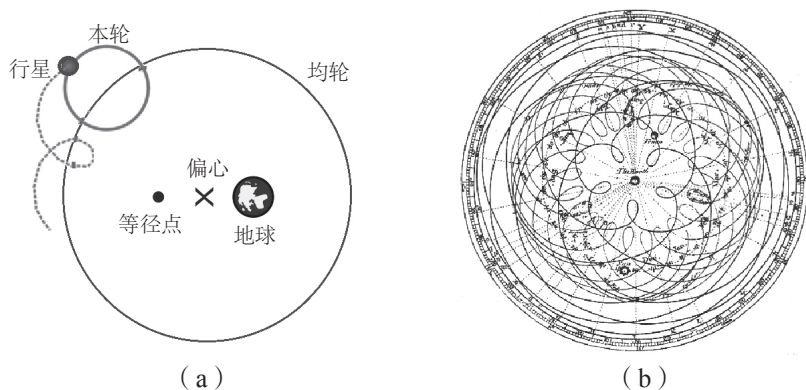


图 1-10-1 托勒密体系
(a) 均轮和本轮；(b) 复杂的地心模型

科学是什么

本轮和均轮的概念，最早是阿波罗尼奥斯在公元前 3 世纪提出，喜帕恰斯也经常采用，后来成为 300 年之后的托勒密地心体系的基本构成元素，现代人很少知道阿波罗尼奥斯和喜帕恰斯，所以一般将功劳统归于托勒密名下。

古希腊人从天象观测中已经知道，天体的运动并非完美的圆形，从他们的几何知识很容易解决这个问题，因为不是圆形的天体运动轨迹可以看成是圆的组合。本轮与均轮的基本模型便是将行星运动首先看成是这两个圆的组合而得到的。

还有一件事说明古希腊天文学（及技术）之发达。1990 年左右，人们从爱琴海的一艘沉船中发现一架齿轮机械，称为安提基特拉机械，专家们

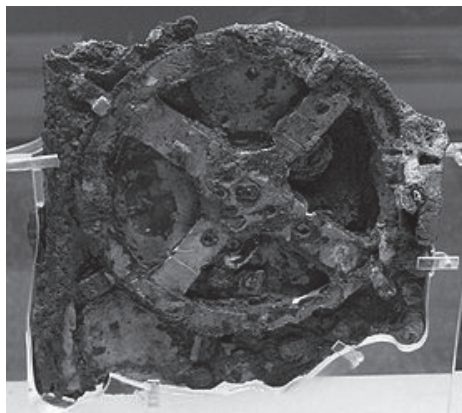


图 1-10-2 安提基特拉机械

们鉴定它的制造年代是在公元前 150—前 100 年之间。开始以为它是一台古希腊水钟，但仔细研究后发现它比水钟要复杂得多。有一大堆齿轮（37 个，如今的机械表只有 10 个齿轮左右），图 1-10-2 可见的是安提基特拉机械中最大的齿轮，直径大约 140mm（5.5in）。最后确定它是古希腊时期为了计算天体

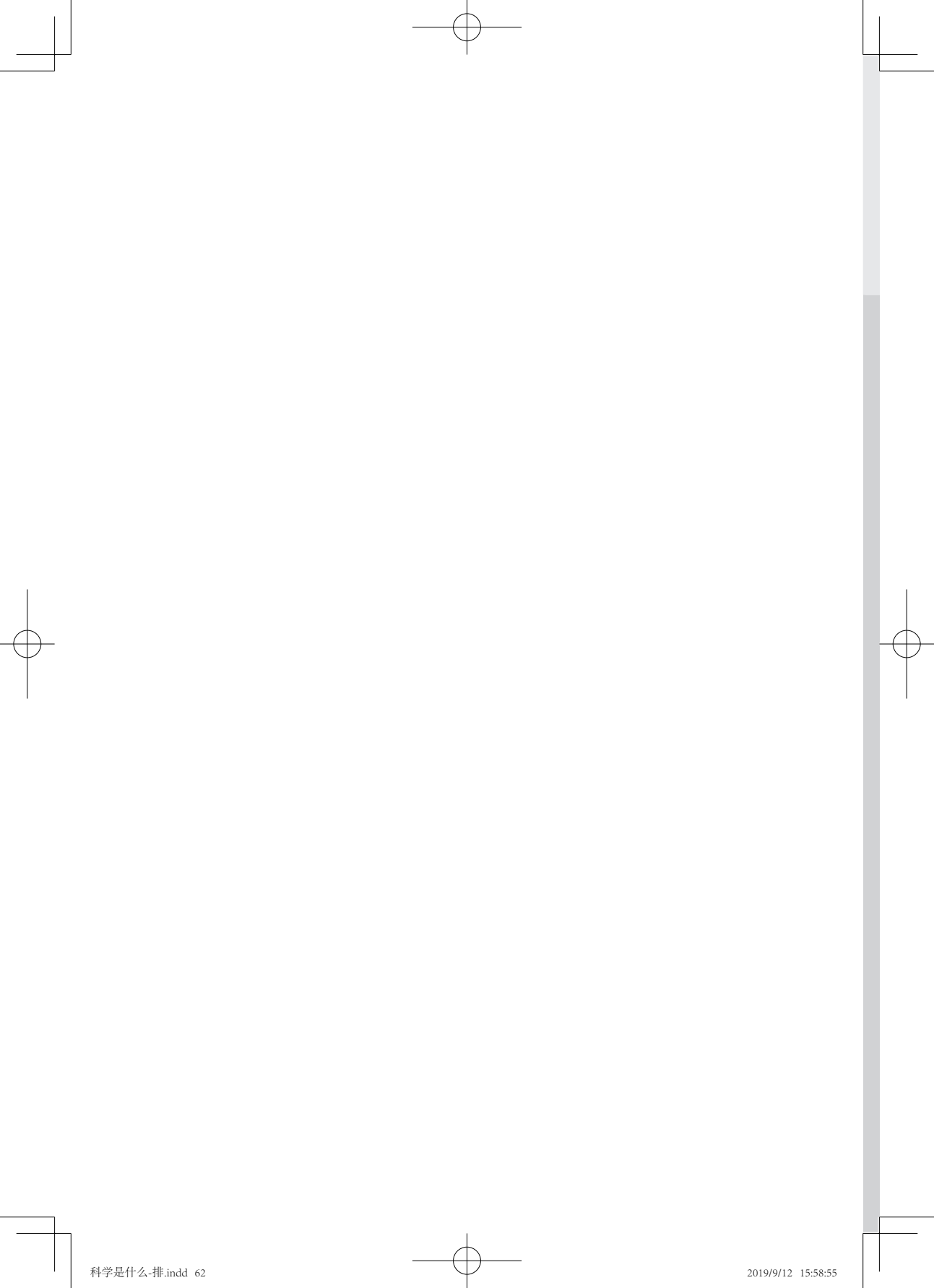
在天空中的位置而设计的青铜机器，也就是模拟地心模型，因此可以算是世界上 2000 多年前人类制造的第一台模拟计算机了。

再回到托勒密的地心系统。从图 1-10-1（a）可见，在本轮与均轮模型中，地球并不在均轮的中心，而是偏向一侧，中心处称为“偏心”，另外在与地球对应的偏心的另一侧，引进了一个“等径点”，或称等分点。将均

轮画成这种偏心均轮的原因是为了解决均轮上行星运动不是匀速的问题。相对于等分点而言，行星运动的角速度便成为均匀的。

在托勒密系统的模型中，每颗行星都有不同的本轮和均轮。如果两个圆圈仍然不足以描述天体的观测数据的话，托勒密（以及使用这个系统的后人）便给这个天体加上更多的圆圈，如此下去，圆圈套圆圈，使得行星的运动模型变得十分复杂，为托勒密理论带来骂名。例如，火星给套上了 13 个轮子，据说到了 13 世纪的葡萄牙国王阿方索十世（Alfonso X）的时代，每一颗行星都需要 40 ~ 60 个小圆来进行轨道修正！不但方法烦琐，形式也不美观，但是无论如何，它能够推算星体的复杂运动，因此，托勒密的行星运动模型被使用了 1000 多年。

实际上，托勒密系统的复杂性，并非完全来自于使用了“地球为中心”的原因，本轮之所以有存在的必要，是因为使用了理想的“圆”作为行星的轨道。事实是，行星轨道是椭圆，太阳位于椭圆的一个焦点上。即使是 1000 多年后，哥白尼将众星环绕的中心移至太阳，一开始也困惑于这个复杂机制。





第二章

科学之诞生

希腊时代的科学再发达，也只走了路程的一半：发展出了形式逻辑和数学。然而，没有实验的发展和推广，形成不了真正的现代科学。换言之，希腊时代的早期科学萌芽，只不过是一颗刚萌芽的种子，在默默地等待着春天的到来。

1 希腊数学家的传承 >>>

古希腊数学家多以几何著称，但在希腊化的年代里，也出了一位被誉为“代数之父”的丢番图。也有人认为这个称谓应与比他大约晚出生 500 年的一位波斯数学家阿尔·花刺子模共享。

数论中有一个著名的“费马大定理”，说的是“当整数 $n > 2$ 时，方程 $x^n + y^n = z^n$ 没有正整数解”。这个定理有一段饶有趣味的历史。据说费马在 1637 年，曾经专心阅读一本数学书并做笔记。读到第 2 卷第 8 题：“将一个平方数分为两个平方数……”时，费马对此问题颇感兴趣并推广联想到更为一般的情况。但费马认为一般情形无解，于是在书页边的空白处写下这样一段话：

“一般地将一个高于二次的幂分成两个同次幂之和，这是不可能的。关于此，我确信我发现了一种美妙的证法，可惜这里的空白处太小，写不下。”

这便是后人所称“费马大定理”的假设。这个问题的证明困惑了数学家整整 300 多年，最终在 1995 年被英国数学家安德鲁·怀尔斯彻底完成。

当年费马阅读的那本书就是丢番图所著的《算术》(*Arithmetica*)。

人们对丢番图的准确出生年月及生活知道不多，只知他一生中基本居住和活跃在埃及的亚历山大港。有趣的是，现代人对他的生卒年月日难以确定，但却能确定他活了 84 岁，这个结论来自丢番图的墓志铭。

这个奇特的墓志铭是一道谜语般的数学题，翻译如下：

过路人！这里埋着丢番图，

聪明的你算算他活了多少年。

他生命的 $\frac{1}{6}$ 是幸福童年，

生命的 $\frac{1}{12}$ 是蒙昧少年。

又过了生命的 $\frac{1}{7}$ 他洞房花烛，

喜得贵子是在婚后 5 年，

可惜这孩子只活到了他父亲年纪的一半，

孩子死后 4 年，丢番图也结束了他的尘世之缘。

这段墓志铭写得太妙了。谁要想知道丢番图的年纪，就得解一个一元一次方程，解出的未知数（答案）便是 84。

丢番图确实与代数方程结下不解之缘，他的主要著作，那本被费马细读的《算术》，处理了求解代数方程组的许多问题。该书有不少篇幅已经遗失，在现存的版本中，仍然以问题和答案集的形式收录了 300 多个题目。因此，《算术》看起来不算是代数教科书，而更像是习题集。丢番图是第一个认识到分数是一种“数”的希腊数学家，在他研究的方程中，允许系数和解为有理数，这个现在看起来不起眼的事情，在数学史中却具有开创性，在数论和代数领域作出了杰出的贡献，开辟了广阔的研究道路。但因为那个年代的数学家最熟悉的还是整数，所以在现代人的眼中，丢番图的名字或许时常出现在数论中，例如，丢番图方程、丢番图几何、丢番图逼近等，但在代数学中却不常见。

丢番图在数学符号方面也作出了贡献。他认为代数符号比几何图像和

科学是什么

人类语言更适合数学的深入发展，更能够准确而深刻地表达概念、方法和逻辑之间的关系。因此，丢番图尽量系统地使用符号、创造符号。符号的发明在数学史上是一次飞跃，我们现在都习惯了简单的数学符号，仍然可以设想一下：一个公式，如果不用符号而仅用日常语言来表述，会十分冗长而含混不清。

丢番图也有纯粹几何方面的书，如《多角数》，此外，还有《推论集》等其他著作。

不少人对丢番图的《算术》一书做过评注，其中包括一位女数学家——希帕提娅。

希帕提娅是历史上第一位女数学家，同时也是当时广受欢迎的哲学家和天文学家。与丢番图一样，她也居住在埃及的亚历山大港，是当时著名的希腊化古埃及新柏拉图主义学者，对该城的知识社群作出了极大贡献。她对丢番图的《算术》、阿波罗尼奥斯的《圆锥曲线论》以及托勒密的作品都做过评注，但均未留存。

希帕提娅的父亲席昂是亚历山大图书馆的最后一位研究员，也是与缪斯神庙有关的最后一位馆长。希帕提娅受其父之启蒙，学习哲学和数学，但她青出于蓝而胜于蓝，不仅在文学与科学领域造诣甚深，对天文学也颇有研究，研究过圆锥曲线和天体运行规律，还与她的一位学生一起发明了天体观测仪以及比重计。

当时的东罗马帝国已被基督教统治，科学没落，基督教兴起。希帕提娅当时生活在亚历山大港，不信基督教，身处“异教徒”与基督徒的冲突之间，最后基督徒要求彻底夷平异教信仰，希帕提娅被视为女巫，成为牺牲品，被暴徒残酷地迫害杀死，终年 40 岁。2009 年，她的生平被改编成西班牙电影《城市广场》搬上银幕。

公元 8—9 世纪，丢番图的著作逐渐传到阿拉伯国家，对阿拉伯数学

产生巨大的影响。许多中世纪以及近代的数学家，如刚才提及的费马等，都受到过丢番图的许多启发。

阿拉伯时代对代数作出重要贡献的是波斯数学家花刺子模，他是巴格达智慧之家的学者，一位数学家、天文学家及地理学家。

有观点认为花刺子模比丢番图更应被称为“代数之父”。花刺子模的著作《代数学》是第一部解决一次方程及一元二次方程的系统著作，不像丢番图的《算术》，只是习题集。但两位先贤相差 500 年，学术成就无法比较，在称呼上计较也没有多大意义。12 世纪，花刺子模著作的拉丁文译本传入欧洲，阿拉伯数字及十进制也因此传入西方世界，成为国际通用的数学符号及进制系统。

2 阿拉伯世界的光亮 >>>

前面介绍的波斯数学家花剌子模是中世纪时期阿拉伯科学家代表人物。一般将公元 476 年西罗马帝国的崩溃到公元 1453 年东罗马帝国的灭亡这段时期称为“中世纪”。有人认为这是欧洲历史上的“黑暗期”。

欧洲的中世纪到底是不是漫漫“长夜”？对此学界颇有争议。但总而言之，西方不亮东方亮，这一千年内，正包括了阿拉伯帝国处于上升发展并达到顶峰的时期，科技也是如此。在遥远的东方古代中国，经历了从南北朝、隋唐、五代十国、宋朝、元朝，一直到明朝初期，尽管仍然是朝代更迭皇帝集权的封建社会，但也有过短短的一段科技鼎盛之时。

无论中世纪的欧洲算不算黑暗期，但就科学成果而言，那一千年的确乏善可陈。即使是阿拉伯世界和中国的贡献，也没有任何科学成就可与古希腊的相媲美。当然，整个世界也不是完全的知识荒漠，阿拉伯国家的科学，有对古希腊思想的保存和延续，也有一定的研究和发展，虽然不是亮得耀眼，但仍可算是一道淡淡的月光，照着欧洲昏暗的夜空，反射出些许古希腊太阳的光辉。

如今回顾科学史，在古希腊之后，哥白尼、伽利略等代表的科学革命之前，世界范围内应该有三条可能的发展路线。中国的那条线是画在相对独立的华夏水域文明之上的，与古希腊科学基本没有交集。但在希腊化之后，古希腊的科学继承可以分为两条线，一条“淡淡”的，由东西罗马帝国之连接而延长至西北方的欧洲，另一条则向东通向了阿拉伯世界。

最终的历史选择是什么呢？科学的发展路线是：古希腊—罗马—阿拉伯—欧洲（诞生）。

科学经过了一条迂回的路线，最后诞生于欧洲。因而就有了另一个问

题：科学的种子移植到了阿拉伯，可现代科学为何没有诞生于阿拉伯呢？这也许是一个没有意义的问题，因为历史不能重演，历史也没有“如果”，偶然性中又包含着必然性。但是，与李约瑟思考的问题类似，探索一下这段科学史也许能使我们广开思路，帮助我们抓住当前的科学发展最佳时机。

从希腊朝向欧洲的那条科学发展“淡色”线未曾加深，当年的罗马人，虽然在军事和政治上征服了希腊，但古希腊的科学精神和自由思想仍然多数保留于东部，也难以被西罗马完全接受。西罗马帝国被灭亡后，东罗马帝国（拜占庭帝国）还“苟延残喘”了上千年。实际上，拜占庭帝国并没有很典型的“帝国”意味，各个区域相对而言具有一定的独立性。

并且，从亚历山大大帝时期开始，希腊化之后的科学并不主要集中在希腊本土，而是在希腊统治下的埃及和近东地区。当年的亚历山大大帝在计划出征阿拉伯半岛前夕猝死，阿拉伯半岛始终没有成为罗马帝国的疆土。但是，亚历山大港的图书馆却始终是希腊学术界的中心，是精英人士的荟萃之地，那儿的学术空气浓厚，学者云集，繁荣达千年之久。这点从之前的介绍就可看出：许多著名的科学家和数学家，比如阿基米德、欧几里得、阿波罗尼奥斯、托勒密、喜帕恰斯、尼科马霍斯、丢番图、希帕提娅等，基本都在亚历山大港做过研究。

亚历山大港图书馆也起到了将两河文明与希腊科学融合的作用，该馆把埃及小亚细亚及亚洲其他地区的大量书籍作品等翻译成希腊文，当成希腊文献保存，直到公元 641 年，阿拉伯人攻占亚历山大港后，逃出的拜占庭学者把希腊文献带入叙利亚、巴格达等地，又把这些希腊文的作品翻译成阿拉伯文。

后来西北部的欧洲人将这些阿拉伯文献翻译成拉丁文，由此认识了如亚里士多德这样的“科学的祖先”，推动了欧洲的文艺复兴，并诞生了科学。所以，希腊科学传统的主线是通过拜占庭帝国和阿拉伯世界才得以延续下

科学是什么

来。这种延续的实现方式就是两次“大翻译运动”：7—9 世纪将希腊文翻译成阿拉伯文，以及 12 世纪将阿拉伯文翻译成拉丁文。

也许又是因为亚历山大港所处的位置，当时的阿拉伯人比欧洲的拉丁世界更善于吸收希腊传统。在翻译运动之前，阿拉伯几乎没有科学，这也可能是阿拉伯人更容易接受希腊精神的原因之一。阿拉伯世界对科学既有继承又有发展，花刺子模便是一例。据说当年，在巴格达和其他大城市建立的图书馆数以百计。例如 10 世纪开罗的皇家图书馆就有 40 间摆满书籍的房间，其中光自然科学（外来科学）方面的书籍就有 18 000 册，总的藏书据说有 200 万册。如当年的阿拉伯学者阿维森纳（980—1037）对布哈拉城皇家图书馆的描述：“我在那里看到许多放满图书的房间，装有图书的书箱摞成一层又一层……”

希腊学术在阿拉伯世界的系统翻译，持续了两百年。盖伦的医学、柏拉图和亚里士多德的哲学，欧几里得的《几何原本》和托勒密的《至大论》等都被翻译成阿拉伯文。到公元 1000 年左右，流传于世的主要希腊学术著作几乎都有了阿拉伯文本版本。

阿拉伯人在天文学方面成果颇多，不仅吸收了托勒密的地心体系，还建立了许多专业的天文台，通过天文观测校正托勒密模型的参数，不断改进新的行星模型。当时阿拉伯世界最大的天文台之一，是坐落于伊朗北部的马拉盖天文台，那儿的学者发展出一套“图西双轮”的工具，用两个匀速圆周运动合成一个往复的直线运动。后人借助图西双轮建立出一套不需要托勒密“均衡点”的行星模型地心体系，在数学上与哥白尼体系等价。

阿拉伯人还发明或改良了星盘，这是一项在天文学、地理学、航海和占星等领域用途广泛的观测工具。波斯的花刺子模不仅是代数学的奠基人，对天文学也有贡献，他继承其印度及希腊先辈，对日晷的理论和结构做出了重要的改进，大大缩短了日晷的计算时间。第一个象限仪也是花刺子模