

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

中外科学家发明家丛书

祖冲之



## 一、非凡的一生

在古代，我国的科学技术成就在当时的世界上一直是遥遥领先的，并且涌现出大量优秀的科学家、发明家，祖冲之就是他们中间的一位杰出代表。他在我国乃至世界科技史上都有着重要的地位。

祖冲之，字文远，祖籍范阳蓟县（今河北省涿水县北），公元429年（刘宋元嘉六年）生。五世纪初，在我国历史上形成了南、北朝对峙的政治局面。祖冲之生活在南朝的宋（公元420—479年）、齐（公元479—502年）两个朝代。宋、齐处长江中下游，都城建康（今江苏省南京市）。西汉以前，这片地区经济比较落后。东汉、三国以来，由于北方战乱不断，大量人口南迁，带来了较为先进的农业和手工业技术，使得南方经济不断发展。到了西晋末年，北方连年战乱，黄河流域人民大量南迁。祖冲之的先辈就是在这个时期迁居南方的。据史书记载，他的曾祖父曾经在东晋为官，其祖父和父亲都在刘宋时候作过官。

刘宋是宋武帝刘裕建立的（为了区别于后来赵匡胤所创宋朝，故将刘裕所创宋朝称为刘宋）。祖冲之虽然生长在官宦人家，但并无纨绔子弟习气，自幼发愤学习，孜孜（z）不倦，注意探索真理，善于思考问题、研究问题，因而他在青少年时代就以学问广博、知古通今、勤思善考著名于当时。由于有了博学多才的名声，二十五岁时，他就被朝廷召进了华林学省。华林学省是专为有才能的人设立的研究学习机构，进这个机构的人被称为华林学士。祖冲之在这里读了许多书，积累了更多、更丰富的知识。几年后，他又先后到南徐州（今江苏镇江）、娄县（今江苏昆山）等地担任官职。直到刘宋末年他快五十岁时，才回到京都建康任职。在这期间，他深入研究了天文历法和数学，并且取得了开创性的科学成就。回到建康之后，他在机械制造方面又作出了杰出的贡献。宋亡后，祖冲之又出仕南齐。在六十多岁的时候，他被提升为守卫京都的禁卫军首领——长水校尉。公元500年，这位杰出的大科学家与世长辞，享年七十二岁。

祖冲之一生虽然在宋、齐两个朝代为官，但他不同于一般的封建文人，没有因为作官而放弃学问，把自己的学问当成求官的手段；也不同于一般的封建官吏，做官之后只知吃喝享乐、作威作福，只想到自己的功名利禄。他在为官期间，除了处理繁杂的政事，仍然坚持钻研学问；同时对国计民生也十分关心，希望能兴利除弊、造福百姓，但是由于各种原因，他的政治抱负没有能够实现。但是祖冲之在学术上的光辉成就却是光照千古，不仅成为中华民族的骄傲，也为全人类作出了巨大的贡献。他的学识广博精深，其学术上的成就是多方面的；他是一位伟大的科学家，对于天文历法、数学、机械制造等各门科学无不精通，留下了许多不朽的科学著作和创造发明；他擅长哲理、文学、经学和音乐理论；他对我国古代思想家的思想有过深刻的研究，

写了一些研究《周易》、《老子》、《庄子》、《孝经》、《论语》等古代思想哲学著作的文章；并著有小说《述异记》十卷，可惜均已失传。历史上象他这样精力充沛、学识广博而精深的学者，是非常罕见的。

为什么祖冲之会在科学上取得如此非凡的成就呢？这里当然有他自身的天赋条件和努力研究的原因；同时与他所处时代的封建经济文化的发展也有着相当密切的关系。可以说是时代造就英才。

祖冲之生活在南朝的宋、齐时代。而南朝时代是我国南方封建社会经济文化迅速发展的历史时期。自从西晋末年，我国出现了长期的南北分裂局面，先后形成东晋与十六国、南朝和北朝的长期对峙的局势。自古以来北方地区就是我国经济文化中心，但战乱也是以北方为中心的，经过西晋末年和十六国时期的长期动荡不安，社会生产遭到极为严重的破坏。与此同时，原来比较落后的南方经济文化由于北方居民的南迁带来了大量先进技术及政局的相对稳定而有了很大的发展。据史书记载，北方南迁有户籍的人口，占到了刘宋时期南方全部人口的六分之一以上。他们的到来，增加了大量的劳动力，带来了北方地区的先进的生产工具和生产技术，使南方广大地区的垦田面积有了大幅度增加，生产技术有了显著的进步。祖冲之生活的南朝前期，南方地区的农业生产较之过去有了明显的发展。这时，南方各地已经普遍使用牛来耕田；北方的辕犁、蔚犁等先进生产工具也都先后传入南方；粪肥的使用逐渐推广；水利灌溉工程在原有的基础上又有了进一步的发展。以上诸方面因素使得南方广大地区由过去的粗放耕作方法逐渐为精耕细作所代替，粮食的产量有大幅度增长，而且过去一些地广人稀的地区逐渐被开发出来。

在农业发展的过程中，手工业也有很大的发展。例如丝织业：三国时代，丝织业以益州（今四川成都地区）为中心，江南的丝织业虽有所发展，但从技术上或数量上都无法同益州的“蜀锦”相比。到了东晋南朝时期，南方各地的丝织业有了很大发展，养蚕技术提高很快，永嘉郡（今浙江温州一带）有了“八辈蚕”，一年能够收茧八次。因此，江南地区的织丝制帛工业发展迅猛。到了刘宋时代，江南地区的丝绢布帛等产品闻名全国，在各地都很受欢迎。此时，还有不少的江南织工、缝工随来访的日本使者东渡传授技术，这对日本丝织技术与缝纫技术的提高，起到了很大的促进作用。在此时，江南地区的其它各项手工业，如金属冶炼业、造纸业、陶瓷制造业、造船业等各行业，都较前代有了长足的发展。

科学技术是随着社会经济发展的需要而向前发展并为之服务的。东晋南朝时期，社会经济的不断发展推动了科学技术的蓬勃发展，因此这段历史时期科技以及其他方面人才辈出，并且造就了象祖冲之这样一位闻名世界的杰出科学家。

祖冲之是一位富于开拓精神的伟大科学家。他在继承前辈科学家优秀成果的基础上深入研究、推陈出新，创造出令人瞩目的成就。他是一位全才的科学家，无论在数学、天文历法、机械制造等各门学科上，他都取得了非凡

的成果。

## 二、数学史上的创举——“祖率”

祖冲之是世界上第一位将圆周率准确地推算到小数点后七位数值的科学家，并将这一纪录在世界上保持了一千年之久。

在祖冲之以前，我国在数学方面已经达到世界先进水平，涌现出许多杰出的数学家和优秀的数学著作。早在原始社会末期，“龙山文化”的陶器上已经出现了各种几何图案。商朝时期，已经开始在数学运算中采用十进制，这是世界上最早的进位制，它的采用大大方便了数学计算。春秋时代成书的《周易》，是世界上第一本研究排列组合的书。到了战国时代，百家争鸣，数学有了进一步的发展，出现了运用至今的“九九”乘法口诀；在几何学方面，已普遍地运用尺规作图，从而促进了几何学的发展。同时，在诸子百家的著作中，也提出了许多有价值的数学理论。例如：墨家学派的经典《墨子》中，有不少地方涉及到几何学上的一些基本问题，对此它都准确地定义，其准确程度与古代西方流行的欧几里德的《几何原本》不相上下。道家学派所著的《庄子》中，提出了极限理论，其中的著名例证：“有一根一尺长的棍子，每天截其一半，那永远也截不完”，至今仍被讲解数列极限所经常引用。

到了秦汉魏晋之际，随着封建经济的巨大发展，与之密切相关的数学也有了长足的进步，涌现了一大批的数学著作和知名的数学家。其中最主要的著作有《周髀算经》、《九章算术》和《海岛算经》。《周髀算经》成书的年代不晚于公元前一世纪，作者已经不知道了，东汉著名数学家赵君卿为之作过注，其主要成就在于提出了著名的“勾股定理”及采取了较为复杂的分数运算等方面。《九章算术》的成书年代同《周髀算经》大约同时，最初的作者是谁也已不知道了，许多数学家都对此书进行过增订删补，如西汉数学家张苍、耿寿昌、许商、杜忠等，三国时期著名数学家刘徽为之作了注。这部著作集先秦、秦汉时期数学优秀成果之大成，对以后中国古代数学产生了非常深刻的影响。全书分为方田（主要是计算田亩的方法）、少广（主要是开平方和开立方的方法）、商功（主要是计算各种体积，解决筑城、兴修水利等建筑工程中的实际问题）、粟米（主要是计算各种粮食间的换算方法）、差分（主要是等级式的计算方法）、均输（主要是计算征收和运输粮食的方法）、盈虚（主要是统计有关生产收入的问题）、勾股（主要是勾股定理的实际运用方法）等九章，共二百四十六个问题及每个问题的解法。这部书从数学成就上看，首先应该提到的是：其中记载了当时世界上最先进的分数四则运算和比例算法。另外，书中记载的开平方和开立方的方法，实际上就是求解一元二次方程；而为解方程而联立方程组的解法，比欧洲同类算法早出一千五百多年。书中还在世界数学史上第一次提出了负数概念和正负数的加减法运算法则。《九章算术》不仅在中国数学史上占有重要地位，它的影响

还远及国外，朝鲜、日本都曾把《九章算术》作为教科书，其中的某些计算方法，还传到了印度、阿拉伯和欧洲。

《海岛算经》的作者是三国时期的刘徽。在这部书中，他主要讲述了利用标杆进行两次、三次及至四次测量来解决各种测量数学的问题，其在此方面的造诣之深，远远超越了当时的西方数学家。而这种测量数学，正是地图学的数学基础。

除了以是三部著作外，较为重要的数学著作还有《孙子算经》、《五曹算经》、《夏侯阳算经》等。

祖冲之经过刻苦钻研，继承和发展了前辈科学家的优秀成果。他对于圆周率的研究，就是他对于我国乃至世界的一个突出贡献。祖冲之对圆周率数值的精确推算值，用他的名字被命名为“祖冲之圆周率”，简称“祖率”。

什么是圆周率呢？圆有它的圆周和圆心，从圆周任意一点到圆心的距离称为半径，半径加倍就是直径。直径是一条经过圆心的线段，圆周是一条弧线，弧线是直线的多少倍，在数学上叫做圆周率。简单说，圆周率就是圆的周长与它直径之间的比，它是一个常数，用希腊字母“ $\pi$ ”来表示。在天文历法方面和生产实践当中，凡是牵涉到圆的一切问题，都要使用圆周率来推算。

如何正确地推求圆周率的数值，是世界数学史上的一个重要课题。我国古代数学家们对这个问题十分重视，研究也很早。在《周髀算经》和《九章算术》中就提出径一周三的古率，定圆周率为三，即圆周长是直径长的三倍。此后，经过历代数学家的相继探索，推算出的圆周率数值日益精确。西汉末年刘歆在为王莽设计制作圆形铜斛（一种量器）的过程中，发现直径为一、圆周为三的古率过于粗略，经过进一步的推算，求得圆周率的数值为 3.1547。东汉著名科学家张衡推算出的圆周率值为 3.162。三国时，数学家王蕃推算出的圆周率数值为 3.155。魏晋之际的著名数学家刘徽在为《九章算术》作注时创立了新的推算圆周率的方法——割圆术。他设圆的半径为 1，把圆周六等分，作圆的内接正六边形，用勾股定理求出这个内接正六边形的周长；然后依次作内接十二边形，二十四边形……，至圆内接一百九十二边形时，得出它的边长和为 6.282048，而圆内接正多边形的边数越多，它的边长就越接近圆的实际周长，所以此时圆周率的值为边长除以 2，其近似值为 3.14；并且说明这个数值比圆周率实际数值要小一些。在割圆术中，刘徽已经认识到了现代数学中的极限概念。他所创立的割圆术，是探求圆周率数值的过程中的重大突破。后人为纪念刘徽的这一功绩，把他求得的圆周率数值称为“徽率”或称“徽术”。

刘徽以后，探求圆周率有成就的学者，先后有南朝时代的何承天，皮延宗等人。何承天求得的圆周率数值为 3.1428；皮延宗求出的圆周率数值为  $\frac{22}{7}$

3.14。以上的科学家都为圆周率的研究推算做出了很大贡献，可是和祖冲之的圆周率比较起来，就逊色多了。

祖冲之认为自秦汉以至魏晋的数百年中研究圆周率成绩最大的学者是刘徽，但并未达到精确的程度，于是他进一步精益求精，去探求更精确的数值。它研究和计算的结果，证明圆周率应该在 3.1415926 和 3.1415927 之间；为了社会上的使用便利起见，他又用  $\frac{22}{7}$ （约等于 3.14）作为“约率”（比较简单的数）和  $\frac{355}{113}$ （约等于 3.1415927）称为“密率”（比较精密的数）来表示。他成为世界上第一个把圆周率的准确数值计算到小数点以后七位数字的人。直到一千年后，这个记录才被阿拉伯数学家阿尔·卡西和法国数学家维叶特所打破。祖冲之提出的“密率”，也是直到一千年以后，才由德国的奥托和荷兰的安托尼兹所重新得到。但是在西方数学史上，却把  $\frac{355}{113}$  称之为“安托尼兹率”，还有别有用心的人说祖冲之圆周率是在明朝末年西方数学传入中国后伪造的。这是有意的捏造。记载祖冲之对圆周率研究情况的古籍是成书于唐代的史书《隋书》，而现传的《隋书》有元朝大德丙午年（公元 1306 年）的刊本，其中就有和其他现传版本一样的关于祖冲之圆周率的记载，事在明朝末年前三百余年。而且还有不少明朝之前的数学家在自己的著作中引用过祖冲之的圆周率，这些事实都证明了祖冲之在圆周率研究方面卓越的成就。

那么，祖冲之是如何取得这样重大的科学成就呢？可以肯定，他的成就是建立在前人研究的基础之上的。从当时的数学水平来看，祖冲之很可能是继承了刘徽所创立和首先使用的割圆术，并且加以发展，因此获得了超越前人的重大成就。在前面，我们提到割圆术时已经知道了这样的结论：圆内接正  $n$  边形的边数越多，各边长的总和就越接近圆周的长度。但因为它是内接的，又不可能把边数增加到无限多，所以边长总和永远小于圆周。

祖冲之按照刘徽的割圆术之法，设了一个直径为一丈的圆，在圆内切割计算。当他切割到圆的内接一百九十二边形时，得到了“徽率”的数值。但他没有满足，继续切割，作了三百八十四边形、七百六十八边形……一直切割到二万四千五百七十六边形，依次求出每个内接正多边形的边长。最后求得直径为一丈的圆，它的圆周长度在三丈一尺四寸一分五厘九毫二秒七忽到三丈一尺四寸一分五厘九毫二秒六忽之间，上面的那些长度单位我们现在已不再通用，但换句话说：如果圆的直径为 1，那么圆周小于 3.1415927、大于 3.1415926，圆周率的实际数值就在其中。祖冲之提出的“约率”  $\frac{22}{7}$  和“密率”  $\frac{355}{113}$  虽然均比圆周率的实际数值为大，但前者约大千分之四，后者大不到千万分之一，它们的提出，大大方便了计算和实际应用。

要作出这样精密的计算，是一项极为细致而艰巨的脑力劳动。我们知道，在祖冲之那个时代，算盘还未出现，人们普遍使用的计算工具叫算筹，它是一根根几寸长的方形或扁形的小棍子，有竹、木、铁、玉等各种材料制成。通过对算筹的不同摆法，来表示各种数目，叫做筹算法。如果计算数字的位

数越多，所需要摆放的面积就越大。用算筹来计算不象用笔，笔算可以留在纸上，而筹算每计算完一次就得重新摆动以进行新的计算；只能用笔记下计算结果，而无法得到较为直观的图形与算式。因此只要一有差错，比如算筹被碰偏了或者计算中出现了错误，就只能从头开始。要求得祖冲之圆周率的数值，就需要对九位有效数字的小数进行加、减、乘、除和开方运算等十多个步骤的计算，而每个步骤都要反复进行十几次，开方运算有 50 次，最后计算出的数字达到小数点后十六、七位。今天，即使用算盘和纸笔来完成这些计算，也不是一件轻而易举的事。让我们想一想，在一千五百多年前的南朝时代，一位中年人在昏暗的油灯下，手中不停地算呀、记呀，还要经常地重新摆放数以万计的算筹，这是一件多么艰辛的事情，而且还需要日复一日地重复这种状态，一个人要是没有极大的毅力，是绝对完不成这项工作的。

“祖率”——  $= \frac{355}{113}$ ，让我们记住这个数字，它是祖冲之在数学方面的杰出贡献。这一光辉成就，也充分反映了我国古代数学高度发展的水平。祖冲之，不仅受到中国人民的敬仰，同时也受到世界各国科学界人士的推崇。1960 年，苏联科学家们在研究了月球背面的照片以后，用世界上一些最有贡献的科学家的名字，来命名那上面的山谷，其中有一座环形山被命名为“祖冲之环形山”。

祖冲之在圆周率方面的研究，有着积极的现实意义，适应了当时生产实践的需要。他亲自研究过度量衡，并用最新的圆周率成果修正古代的量器容积的计算。

古代有一种量器叫做“鬲(釜 f )”，一般的是一尺深，外形呈圆柱状，那这种量器的容积有多大呢？要想求出这个数值，就要用到圆周率。祖冲之利用他的研究，求出了精确的数值。他还重新计算了汉朝刘歆所造的“律嘉量”（另一种量器，与上面提到的鬲都是类似于现在我们所用的“升”等量器，但它们都是圆柱体。），由于刘歆所用的计算方法和圆周率数值都不够准确，所以他所得到的容积值与实际数值有出入。祖冲之找到他的错误所在，利用“祖率”校正了数值。

以后，人们制造量器时就采用了祖冲之的“祖率”数值。

### 三、数学杰作《缀术》

祖冲之在数学研究方面，除了圆周率外，还有其它成就，并著有《缀术》一书。《隋书》评论认为《缀术》理论十分深奥，计算相当精密，学问很高的学者也不易理解它的内容，在当时是数学理论书籍中最难的一本。

在《缀术》中，祖冲之提出了“开差幂(mì)”和“开差立”的问题。“差幂”一词在刘徽为《九章算术》所作的注中就有了，指的是面积之差。“开差幂”即是已知长方形的面积和长宽的差，用开平方的方法求它的长和宽，它的具体解法已经是用二次代数方程求解正根的问题。而“开差立”就是已知长方

体的体积和长、宽、高的差，用开立方的办法来求它的边长；同时也包括已知圆柱体、球体的体积来求它们的直径的问题。所用到的计算方法已是用三次方程求解正根的问题了，三次方程的解法以前没有过，祖冲之的解法是一项创举，这是他在数学上的又一重要成就。

《缀术》六卷，是我国历史上非常有价值的科学著作之一。隋唐时期对《缀术》相当重视，都把这本书列为官家学校数学科的主要教科书。在唐代，专学数学的人分成两组：第一组所用的教科书是历代相传的《周髀算经》、《九章算术》及《海岛算经》等八部数学专著，学习六年毕业；第二组所使用的教科书则是更深奥的《缉古算经》和《缀术》，共学习七年后毕业。其中《九章算术》与《海岛算经》两部书规定共学习三年；《缉古算经》是很深奥难懂的专著，规定学习三年；可是《缀术》规定要学习四年，学时最长。考试时也按这样分成两组，每组各考十道试题，而第二组中，《缀术》题要占六道。从以上的学制和考试制度来看，《缀术》所占的地位要超过其它的各种算书，因此《缀术》的科学价值和程度的玄奥高深也是可想而知的。

随着隋唐时期中国文化的四处传播，我国的数学也随之传到了东方的日本。当时的日本在各方面都尽量仿效我国，多次派“遣隋使”、“遣唐使”来我国学习先进的科学文化与各项礼仪制度。在数学学科方面，也建立了同唐朝一样的学制和考试制度，《缀术》同时受到了高度的重视。但是，到了唐朝末年，各地藩镇割据、战乱纷纷，国家办的数学教育无法维持下去，数学书籍多有散失。到了赵匡胤统一全国建立起宋朝时，就仅有少数传本留传下来。《缀术》一书，不久也就在北宋天圣、元丰年间（公元1023—1078年）失传了。流传到日本以及朝鲜的《缀术》一书也都先后散佚，没有保留下来。这是我国古代科学文化上的巨大损失，是非常可惜的。今天，我们所能了解到《缀术》中的部分内容，是其它史书及数学类书所转记的。如唐代史学家在修《隋书》时，在这部史书的《律历志》里保存了关于祖冲之推算圆周率的记载并转引了几句应该是《缀术》内容中的话，文字虽少，价值却十分巨大。

日本有一本记载数学史的书，叫做《见在书目》，书中记载了有个叫祖仲的人注解过《九章算术》、《海岛算经》等书，我们知道祖冲之曾为《九章算术》作过注，祖仲应是祖冲之的笔误，并且从这里也可以知道他可能还注解过《海岛算经》。由此可见，祖冲之的著作和理论，不仅在隋唐的数学教育中占有相当的地位，而且对日本也有过很大的影响。这足以说明祖冲之在数学上的造诣之深和贡献之大，不愧是我国古代科技界的杰出代表。祖冲之的数学成果，正如同我国许多的优秀文化、科技成果一样，远在一千多年前，就已经在同其它国家、民族的文化交流中，作出了它的贡献。

#### 四、天文历法方面的成就

天文历法在我国历来是受到非常重视的一门科学。在祖冲之以前，这门科学在我国已经有了长期发展的悠久历史，取得了许多项在当时世界上遥遥领先的研究成果。

早在公元前二十一世纪到公元八世纪的夏、商、西周时代，随着农业生产的不断发展，人们越来越注意天象气候的变化，从长期的观察中，总结出不少的天文知识，制定出历法。相传在远古时代已经制定出我国历史上最早的一部历法，即《黄帝历》。到了夏代，又制定出以阴历正月为岁首的《夏历》，这是现代阴历的起源。到了商、周时代，为适应农业生产发展的需要，开始使用阴阳合历，分别以阴历十二月与阳历十一月为岁首。由于一个阴历年只有 354 天，与一个阳历年差 11 天多，为了调整阴阳历参差，开始设置了闰月。同时商、周时代对天象的观测也有了不少的成果。如商代已经发现了日月食现象，甲骨文中已有关于日月食的记录。西周时，人们已经注意到天体运行和星座位置的变化，对一些星座开始命名，并发明了岁星（即木星）纪年法、二十八宿观测法、土圭测日法等改进历法的依据。进入春秋战国时代，随着生产的迅速发展，天文历法也有不少的进步。春秋时期，在观测恒星、慧星和日月食方面出现了不少的新成就，例如记载下了世界上最早的有关哈雷慧星的记录，当时对夏至和冬至时间的观测也较为准确了，而且基本上区分了二十四节气。到了战国时代，开始出现一些专门研究星象运行的学者，其中最著名的是齐人甘德和魏人石申，他们各写了一部天文学著作，被后人合称为《甘石星经》，在这本书中记录了金、木、水、火、土五大行星出没的规律；还详细地记录了黄道附近恒星的位置及其距离北极点的度数，这是世界上最早的恒星表。

到了秦汉时代，随着封建经济的进一步发展，科学文化事业更加繁荣昌盛，其中与农业生产有着密切联系的天文历法更为突出。西汉司马迁著的《史记》和东汉班固的《汉书》两部著名史书中，就有专门记录星象和历法的《天官书》与《天文志》、《律历志》。杰出的天文学家张衡发明了浑天仪和地动仪，并著有天文学专著《灵宪》一书。至于历法，秦始皇统一六国后，发现春秋战国时期历法混乱，各诸侯国采用的历法不一，为统一历法，他令人另造新历，以阴历十月为岁首，称为《颛顼（音 zhu nx）历》。汉初延继了秦制，也是使用《颛顼历》。到了汉武帝元封年间（公元前 110—前 105 年），大夫公孙卿、壶遂、太史令司马迁等上书汉武帝，认为秦历不够精确，与实际天象不一致，在历法上不应出现月亮的时候，月亮却高挂在天空，而应当看见月亮的时候却反而瞧不见。武帝就令他们几人及其他一些人另造新历。新历以正月为岁首，于武帝太初元年（公元前 104 年）宣布实行，在全国范围内使用，这就是《太初历》。《太初历》延用了 188 年，到东汉章帝元和二年（公元 85 年）时，由于《太初历》与天象相差越来越明显，章帝下诏令李梵等人加以修改，修改后的新历称为《四分历》。到了三国时期，魏文帝黄初年间（公元 220—226 年），魏文帝采纳太史令韩翊的建议，改《四

分历》为《黄初历》。魏明帝景初元年（公元 237 年），采纳尚书郎杨伟的建议，再次修改历法，定为认农历正月为岁首，此历即为《景初历》。晋武帝时，改《景初历》之名为《泰始历》。所以实际上从曹魏中期到南朝刘宋初年的二百年间，历法皆用《景初历》。

到了宋文帝元嘉年间（公元 424—453 年），著名天文学家何承天通过多年的天象观测与实际研究，发现《泰始历》不够精确，已经不符合当时天象了，比如：当时冬至的实际日期已经和历法所载日期差了三天。于是他上报朝廷，受命制造新历。元嘉二十二年（公元 445 年），新历经政府下令颁行，命名为《元嘉历》。

以上就是祖冲之以前我国古代天文历法的发展概况，这体现了我国广大劳动人民和科学家对于天文历法的观测研究不断深入、精确。正是他们持之以恒的研究，为祖冲之及后人再对天文历法进行深入研究奠定了坚实的基础。

通过对前人的优秀成果的研究，开拓了祖冲之的眼界，提高了他的认识。但是，祖冲之明白，只是依靠前人留下的东西进行研究是远远不够的，于是他非常重视科研实践，走到大自然中，在实践中获取经验，从实践中检验所学的天文历法理论的正确与否。

古代天文观测，特别是为了制订历法所进行的天文观测的中心课题是测量日影的长度。测量日影所用的仪器叫做表，是用铜制的标杆，垂直立于地面上，记录铜表在正午时的日影。这是一项细致而繁琐的工作，需要很大的耐心。祖冲之的观测记录持续十年，从而对铜表这种仪器有了深刻的认识，他说：“我测量日影长度经历十年多了，亲自辨别日影长短，铜表很坚硬，日晒雨淋从不变形，而且表影分明，在进行观测时，它的影子长度能够辨别得很清楚。”

祖冲之用这种方法成年累月地测量日影，例如刘宋大明五年（公元 461 年）冬，为确定冬至时间，他一连四十多天，不畏寒冷的天气连续观测，用八尺高的铜表测量，再经过计算，确定该年的冬至在阴历十一月三日。就用这种连续测量的办法，祖冲之顶酷暑、冒严寒，最终测定了一年中二十四节气的正午日影长度。

祖冲之为了准确地认识天体运动规律和测定时间，需要测得准确方位，方位不准就会影响到其他测量的准确性。他采用的方法是用五个铜表立于地面，先立南表，在正午太阳照射的表影末端立中表；第三立北表于中表之北，令中表、北表末端都与天空北极星的方向对直。在春分或秋分时候立第四表与第五表。第四表在春秋二分太阳刚露出地平线一半时，立在中表的东边，叫做东表，并使中表、东表和太阳的位置处在一条直线上。第五表在春秋二分日太阳隐入地平线时立在中表的西边，称之为西表，并使中表、西表与此时的太阳位置处于一条直线上。五表全部立完之后，还要进行校正。最后，连接南、中、北三表的直线就是指向南北方向；连接东、中、西三表的直线

指向的就是东西方向。这时把中表所在的位置称为“地中”。祖冲之就这样长期进行天文观测，积累了丰富的第一手资料，为他以后的历法研究打下了坚实的基础。

经过长期反复的研究和实际观测，祖冲之发现古代十一家历法（《黄帝历》、《夏历》、《商历》、《周历》、《鲁历》、《颛顼历》、《太初历》、《三统历》、《四分历》、《乾象历》、《景初历》）都有不少的错误，推算不够精密。而当时，刘宋政府采用的历法是何承天所制的《元嘉历》。祖冲之认为此历比以前的历法有了相当的改进和提高，可以说是一部较好的历法，同时他也发现《元嘉历》存在不少的缺点和错误。他指出由于《元嘉历》在推算日月等五个天体所在的位置上有差错，因而由此推算出来的节气和所设的闰月也都不够精确。于是，祖冲之下定决心改革以往的历法，制定一部更好的、更符合自然实际的新的历法。他根据自己多年的天文观测实践、参考了历代的历法，于宋孝武帝大明六年（公元462年）编成一部新的历书，命名为《大明历》。这时祖冲之才三十四岁。

《大明历》是一部阴阳历合璧的新历法。包括推朔术、推二十四节气术、推日所在度数、推月所在度数、推入阴阳历数、推五星（金、木、水、火、土）位置术等几个部分。它的内容收录在梁朝的一位学者沈约所著的一部历史著作——《宋书》当中，流传至今。

《大明历》中有不少重大改革和天文历法上的先进成果。下面所要介绍的是其中最重要的几项。

### 把岁差引入历法

什么是岁差呢？岁差是指春分点在黄道上的西移。由于日、月、行星的吸引，地球自转轴的方向会发生缓慢而微小的变化，因此从这一年的春分到下一年的春分，从地球上看来，太阳并没有回到原来的位置，而是逐渐向西移，因此春分点也在移动，随着春分点的移动，全部二十四个节气的位置也在动。但是，在公元四世纪以前，我国还没有发现岁差现象，天文观测者和历法制定者都认为太阳（实际是地球）从头一年的冬至日到下一年冬至运行一周天，正好是一周年。也就是说，那时人们认为每年的冬至，太阳又回到原来出发的位置上了。直到东晋的时候，有一位天文学家虞（音 yú）喜，一生不愿做官求禄，献身天文学，长期坚持天文观测。当他把自己的观测记录和古代记录下来的日月星辰的位置，尤其是冬至日的位置进行了仔细的比较，结果发现了古今的不同。太阳从前一年的冬至到下一年的冬至，并没有回到原来的位置上。岁差被发现了，这是我国天文学史上的一项重要发现。虞喜通过观测和详细计算，求出岁差的值每五十年向西移动一度，这个结果虽然比实际大了一些（现代计算出来的岁差值为每年 50.3 秒，近 72 年移动一度），但这是我国天文学史上的第一个岁差值。

岁差的发现对于历法的改革有巨大意义，可是在发现后的一百多年里研究历法的人都没有注意和重视，何承天制定《元嘉历》时也未引入这项成果，因而在改革历法上未能取得大的成效。祖冲之是把岁差引入历法的第一人。他根据自己的实际测验和计算的结果，证实了岁差现象的存在。在编制《大明历》时，他把岁差引进到历法中去。这是我国历法最早对岁差的应用，在我国历法史上有划时代的意义。

由于历法中考虑了岁差，回归年和恒星年才有了区别。回归年是太阳连续两次经过春分点所需要的时间，又叫太阳年，也就是我们在日常生活中所说的“年”。恒星年是太阳连续两次经过某一恒星位置时所需要的时间，也就是地球绕太阳公转的一个真正周期。现代计算表明，回归年要比恒星年短二十分二十三秒，祖冲之也注意倒了回归年和恒星年的区别，经过实测和计算，他求出了这两种“年”的日数，并且非常精确地测出一回归年的日数是365.24281481日。现代天文学所测一回归年为365.24219879日，祖冲之的计算结果和这个数字只差50秒，一年之中仅有六十万分之一的误差。这个结果是多么的精确啊！

另外，由于引入了岁差，《大明历》在推算闰年率等方面要比古代历法和《元嘉历》精确。下面，我们就来看看祖冲之在《大明历》中是如何修改闰法的。

## 闰法的改革

远古时代的人们，由于畜牧业和农业生产的需要，经过长期观察，总结经验，发现了日月运行的某些基本规律。我国人民早在四千年前就根据这种规律和月相的变化而制定了阴历和阳历两种历法。阴历是观察月的盈亏变化规律得到的，古人把由上一次月圆（或月缺）到下一次月圆（或月缺）的一段时间规定为一个月，每个月二十九天或三十天，十二个月为一年，共计有354天。阳历是把地球绕太阳运行一周所需要的时间算做一年，阳历一年也是十二个月，日数为365。当时人们还不知道地球绕太阳运行这一事实，而从现象上误以为是太阳绕地球运行，但根据实际观测和计算所得结果和地球绕日运行情况相符合。阴历年和阳历年的日数不同，前者比后者每年要少大约十一天，阳历年符合季节的变化，每年情况都差不多；阴历和节气之间却没什么规律可言，变化很大。因此就有必要调整阴历年的日数，使之和阳历年的日数一致。

我国古代劳动人民在长期实践中找到了解决这个问题的办法，发现了闰法，隔两三个阴历年，多加一个阴历月，叫做“闰月”。加了闰月的阴历就可以补上和阳历的差距，这种历法是阴阳全历，一般称之为“阴阳历”。现在我们所说的农历，实际上就是阴阳历。当时所使用的闰法是十九年七闰，即十九个阴历年中加七个闰月，并把这十九个阴历年叫做一“章岁”。这种

闰法在当时是一种创造。

但十九年七闰法并不够精确和完善，经过二百年就会多出一天，将会影响到历法中的其他数据。于是有人提出了改革，破除章岁。东晋义熙八年（公元412年），北朝北凉的赵馥（音f i）作《元始历》，第一次改革了旧闰法，在六百年中加入二百二十一个闰月，但是没能被人们接受。二十一年后，何承天编制的《元嘉历》仍然用的是十九年七闰的旧闰法。

过了整整半个世纪，祖冲之不畏旧章法的束缚，彻底打破了十九年七闰的延用了近千年的旧闰法。他根据自己的长期实际观测，再加上赵馥改革闰法的启发，在《大明历》中将闰法改为三百九十一年中设一百四十四个月，以解决旧章法闰数过多的问题。祖冲之改革闰法、破除章岁的行动，在科学界产生了很大的影响。后来研究历法的人总要讨论闰法问题，改革闰法也就成为以后改革历法的主要内容之一。祖冲之以后，十九年七闰的旧闰法被彻底废弃。这是祖冲之在历法改革中的一项重要贡献。

祖冲之在制定《大明历》时，不仅做了上述两项重大改革，在其它方面也取得了出色的成就。比如在历法计算中第一次引入了交点月的概念。所谓交点月，是月亮沿白道（月亮在天球上运行的路线）运行的时候，过一个黄白交点（黄道是太阳在天球上运行的路线，黄白交点就是黄道和白道的交点）环行一周的时间。他推算出一交点月是27.21223日，和现代数据相差不到一秒钟。由于日食和月食都发生在黄白交点附近，所以准确求得交点月，就能精确的预测日月食。例如用《大明历》推算从元嘉十三年到大明三年（公元436—459年）这二十三年中所发生的四次月食和月亮在天空的位置与时间，都和实际情况完全符合。

祖冲之是我国天文学史上第一个提出交点月的天文学家，并且也是求出交点月数值的第一人。这是祖冲之在天文学上的另一项重大贡献。由于发现了交点月，使我国历法上关于月的概念才算完备了。“月”一共有五种概念，即祖冲之的交点月概念和“近点月”、“经天月”、“恒星月”、“朔望月”等四种概念。“近点月”即月球在自己轨道上由上一次近地点到下一次近地点的运行周期；“经天月”就是在一章岁中月长的平均值；“朔望月”是月相由朔（月亮开始看不见之时）到朔或由望（月亮满月之时）到望的周期；“恒星月”是月亮在天空运行一周的时间。

### 木星运行周期的精确计算

在现代，我们知道太阳系有九大行星；水星、金星、火星、木星、土星、天王星、海王星、冥王星以及我们人类生存的地球。按照距太阳远近的次序，地球在第三位，处于金星和火星之间。而在古代，由于观测水平的限制，只发现了距地球最近的五颗行星，即水星、金星、火星、木星、土星。又因古代天文观测是以地球为宇宙中心的错误宇宙观，所以认为这五颗行星都是围

绕地球转的。在古代所说的“五星”、“五律”、“五珠”等等就是指的水、金、火、木、土这五颗肉眼能看到的行星。

我国古代人民很早就对五大行星进行了观测研究，并给它们起了专门的名称，比如把金星叫“太白”（这样我们也知道了神话传说中为什么管那个天上的白胡子老神仙叫做“太白金星”了吧），土星叫作“镇星”，木星叫“岁星”等等，此外还发现了它的出没规律。我国古代从西周开始使用岁星纪年法。由于当时发现木星运行一周天所需时间为十二年，于是把它的轨道分为相等的十二段，每一段称为一“辰”，也就是一年。由于重要星座大都位于黄道附近，所以将黄道也分为十二段，与木星运行的轨道相对应，这样就便于天文观测和记年（岁），故木星又名“岁星”。

但实际上木星的公转周期并非恰好是十二年。西汉时期，汉武帝从民间调了一批天文学家到朝廷研究历法，在公元前 104 年编出著名的《太初历》，其中对木星运行周期为十二年的古法进行了更正。《太初历》认为每一百四十四年木星就要超辰一次，即木星实际上多走了一辰。辰的时间比年短一些。这个结果虽不精确，但却是重要发现，被称为“超辰法”。祖冲之在制定《大明历》时，发现《太初历》“超辰法”的计算结果不够精密，因此他又重新进行了测定和研究。他计算的结果是只要八十四年，木星就超辰一次，即八十四年间应有八十五辰。按照这个数值推算，木星公转时间应该是 11.859 年，这同现在测定的数值相比较已经是很接近了。祖冲之同时也对另外四颗行星的公转周期进行了研究。他所测得的水星公转周期是 115.83 日，这与现代所测的结果完全一样。金星的公转周期为 583.93 日，较现代所测仅差 0.01 日。以上的计算结果的精确度较前人都有了很大提高。

总之，祖冲之在天文历法方面作出了很大贡献，《大明历》是他长期从事科学实践和辛勤劳动的研究成果。但我们也应该看到他的《大明历》也存在着缺点，例如火星、土星的公转周期就不够精密；历法计算中，繁琐的上元积年计算也没有废除。虽然这样，《大明历》是一部好历法是毋庸置疑的。

《大明历》编成以后，祖冲之上表给刘宋孝武帝，请求准予颁行。祖冲之在天文历法方面所取得的成就之大，在古代天文学史上是少有的，说明他的改革历法是卓有成效的，本来应该受到朝廷的支持，新历法也应得到采用。然而事与愿违，新历法上奏朝廷后却遭到以戴法兴为首的顽固守旧派的竭力反对。戴法兴原是孝武帝当藩王时的宠臣，孝武帝继位后，对戴法兴言听计从，戴法兴也是独断专权，权势显赫。他阅读过一些天文历法著作，但研究不深，而且思想守旧，一味地推崇古历，反对关于历法的任何改革。

当祖冲之以所制《大明历》上奏朝廷，请求施行时，孝武帝令群臣展开讨论，大部分官吏无异议，唯有戴法兴坚决反对。他攻击祖冲之才疏学浅，没有能力改革历法；并认为古历、特别是三代历法和《鲁历》是先圣先贤制定的。所以永远不应更改，因而戴法兴主张恢复以往的古历，反对任何改革，这是十分保守、消极的主张。他还给祖冲之扣上“背离经典、有辱上天”的

罪名，就连在历法方面颇有创举的何承天及《元嘉历》也受到了攻击。戴法兴是朝中权势显赫的权臣，朝中文武百官惧怕他的权势，大多附和他。而祖冲之当时只是一个地方官员，支持他的只有一个名叫巢尚之的人。但祖冲之根据他渊博的学识和丰富的实践经验，对于戴法兴的攻击论点逐一加以驳斥，写出了一篇非常有名的驳议《辨戴法兴难新历》。在这篇驳议中，祖冲之引用前人的经验与自己的观测结果，证明《大明历》对以往的历法进行改革是有科学根据的，戴法兴的非难是毫无道理的。这样就展开了我国历法史上第一场著名的大辩论，这场辩论的实质是革新和守旧、科学与迷信的尖锐斗争。

戴法兴攻击的矛头主要指向祖冲之对历法的两项重大改革——引进岁差和改革闰法。戴法兴坚持“太阳有自己固定的变化规律，星座的相对位置也不会有什么变化，自古以来的冬至日每次都发生在同一天，绝不会有变化”的陈旧观点，认为古代圣贤制定的历法决不会错，应该流传万古，是不能更改的。祖冲之则针锋相对地回答说：“人不应该迷信古人而对今人的成就妄自菲薄。”他以有力的论据表明了过去的历法因测量不准确或推算不精而存在这样或那样的错误。而他用《大明历》推算从元嘉十三年到大明三年（公元436—459）这二十三年间发生的四次月食的时间以及月亮在天空中的位置，结果完全符合实际。而把古代历法捧得高高的戴法兴，他的推算结果时间不符，位置比实际相差了十度。在辩论中，祖冲之指出：历法的准确与否，关系到国计民生，是一件非常重要的事，决不能掉以轻心。而古历错误颇多，延用时间越久，偏差就越大。以闰月为例，如用旧历法每三百年就与实际相差一天，所以历法需要经常改进，不应抱着古人的观点不放。

在事实面前，戴法兴理屈词穷，但是仍然蛮横地宣称：古历就是有错误，也决不能有什么改革。对此，祖冲之予以有力的驳斥并且指出：日月五星的运行有其一定的规律，与什么神仙鬼怪无关，通过观测与研究，是可以推算出来的，而且推算结果会越来越精确。要是明知古代历法有误差，还要永远使用下去，真就没什么道理可言了。祖冲之还要求戴法兴拿出事实来证明自己的论点，但戴法兴拿不出任何事实来，只好罗列出许多儒家经典上的名词，根本抓不住问题的本质。祖冲之指出戴法兴的话中有许多自相矛盾的东西，没什么可取的地方。如果只是强词夺理、仗势压人，那他是决不会屈服的。就这样，祖冲之以大无畏的斗争精神，驳倒了戴法兴。宋孝武帝听了双方的辩论，也知道了《大明历》的诸多优点，准备加以采用。到了大明八年（公元464年），他决定在第二年换年号的时候采用新历。然而就在这一年，孝武帝死去，刘宋统治集团内部忙于争夺权位的斗争，根本无暇过问历法的改革问题。

过了不久，刘宋也就灭亡了，代之而起的是齐。齐武帝之子文惠太子萧长懋看到了祖冲之的《大明历》的底稿，认为是一部好历法，建议武帝在齐施行。未及施行，文惠太子逝世，改历之事又被束之高阁。直至梁武帝天监

年间（公元 502 - 519 年），祖冲之之子祖暅继承父业，重修《大明历》，使其进一步完善，随后积极向梁武帝推荐，建议施行。梁武帝令人进行天文实测检验，确认《大明历》优于古历及《元嘉历》，然后批准予以采用，在梁施行《大明历》，废除《元嘉历》。这时距祖冲之去世已经十多年了。《大明历》一直沿用了八十年。

## 五、多才多艺的发明家

除了上述在数学和天文学方面的巨大成就外，祖冲之还可以称得上是一位天才的机械发明家。他在机械制造与发明方面的成就是很多的，以下分成四个方面加以介绍。

### 重造指南车

公元 464 年，刘宋孝武帝去世，前废帝即位，统治集团内部斗争十分激烈，和祖冲之有关系的皇族刘子鸾被杀，祖冲之也被调到娄县担任县令。到刘宋末年，他才被召回都城建康，任谒者仆射这一职务，这是掌管朝廷宴会、皇帝接见大臣的朝见以及办理重大受封典礼的礼节官员。在此期间，他的研究方向，几乎完全转到机械制造方面。此时他在机械方面最早的一项工作是他重造了指南车。

指南车是一种双轮独辕车，它的作用类似于指南针，是用来指示方向的。车上立一个木人伸臂南指，只要一开、行车的时候，使木人的手臂指南，那么此后不管车子向何处拐弯，木人的手臂就始终指南。

指南车是何人在何时发明的，现在已无法探究了。传说在上古黄帝时期，黄帝部落和南方的蚩（音 ch）尤部落作战，遇上大雾，无法辨清方向，于是黄帝就制造了指南车，认明了方向，打败了蚩尤部落。当然这已经无法证实了。根据史书记载，东汉杰出的科学家张衡总结了以前的机械制造经验，制造过指南车，并且获得了人们的好评。三国时卓越的机械巨匠马钧也制造过指南车。但是他们关于指南车的制造方法很快失传了，制造原理也没有留下什么记载。

到东晋时，北方的后赵、后秦统治者都令人给他们制造过指南车，这当然不是为了指引方向，而是在出巡时讲排场罢了。东晋义熙十三年（公元 417 年），大将刘裕率晋军北上攻占后秦首都长安（今陕西西安市），灭掉后秦。刘裕在长安获得了指南车，将它运回江南。可是这时，这辆指南车只剩下一个空架子，内部机械已经完全散失。因此每当行走的时候，只好让人藏在车内来转动木人，使它指南。后来刘裕和他的子孙做了皇帝，都是用这部旧指南车做做样子而已。

刘宋末年，萧道成当了禁军首领，他打算有一辆真正的指南车。这时祖

冲之正任谒者仆射，平时又有博学之名，于是萧道成找到祖冲之，希望他能够重造指南车，祖冲之答应了。以前所造几辆指南车，其内部机械可能是木制的。祖冲之经过详细研究，把内部机械部件改用铜制，灵敏度自然比木制的要高，这是一项成功的改进。指南车造成后，萧道成让两个手下大臣去试验车的性能。试验的结果证明，这辆车构造精巧，运转灵活，不论朝什么方向转变，木头人的手始终指向南方。在场的人纷纷称赞祖冲之的才能。

就在这时，北朝有个叫索驭麟（音 lín）的人来到了建康，声称也能制造指南车。萧道成便让他再制造一辆。制成后，萧道成下令让这一辆和祖冲之的那辆在乐游苑（皇家花园）里进行比赛。结果，索驭麟的那辆指南车比不上祖冲之的灵活，运行中时常指不准方向，索驭麟非常羞愧，只好把自己的车给毁掉了。而祖冲之制造的指南车，不久也毁于战火，指南车的制造方法再次失传。

到北宋时代，有两位能工巧匠燕肃和吴德仁分别于公元 1027 年和公元 1107 年各自造出了指南车。这两辆指南车虽然也早已失传，但制造原理却得益于《宋史》的记载而保存下来了。指南车的主要部分是一组五个齿轮所组成的差动齿轮机；在车厢中间安装一个大平轮，上面竖一长轴，轴上有一木人；左右各装一小平轮；外侧各装一立齿轮，起转动作用，能够跟随左右的行走轮转动。车行之前先将木人之手指向正南。当指南车一直向前行驶的时候，左右水平轮和中心大平轮是分离的，不相接触，因此两边行走轮的转动不影响中心大平轮。如果车向左转弯，右边的行走轮就会带动立齿轮、牵动小平轮，小平轮又使大平轮向相反方向转动。因此中心大平轮受右边行车轮的影响而向右转动，恰好能抵消车辆向左转变的影响，使木人手臂仍旧指向南方。车子向右转变也是同样的道理。

祖冲之重造的指南车，其具体结构不一定是和燕肃、吴德仁的一样。但无疑也是用差动齿轮原理制造的。因为在祖冲之以前很久我国劳动人民就发明了齿轮，而且指南车只有通过齿轮的作用，才能很好地解决传动、变速、变向等问题。所以祖冲之采用这种原理是必然的。

## 制造水碓磨

刘宋的统治由于不断的内争而日益削弱，朝中大权就落到了禁军首领萧道成手中。他趁刘宋衰落之机，于公元 479 年夺取了政权，在建康做了皇帝，改国号为齐（历史上称南齐）。随后的十几年中，南齐境内没有大的战乱以及内争，国家出现了暂时的稳定局面，农业生产有所发展。

由于祖冲之曾经长期做过地方官，比较了解劳动人民的生活疾苦和生产实际状况。所以在这段时期他关心生产，用很大精力研究农具的提高与改进的问题。他把前人的发明创造加以改进，取得了新的成就。水碓磨的创造就是其中最重要的一项。他在做地方官时，就注意到农民舂（音 chōng）米、

磨粉很费力，就想利用机械来代替人力，提高工作效率以便减轻农民的劳动强度。现在，他利用在朝做官比较清闲的机会研究出了粮食加工机械，称为水碓磨。水碓磨造成后，进行了公开试验，运行效果很好，齐武帝也亲往观看。

水碓磨是利用水流冲击的力量进行工作的水利机械。碓和磨是我国过去粮食加工的主要工具，为了把谷物的皮壳去掉，人们在很早以前就知道用杵舂米的方法，不过效率很低。到了汉代，人们就开始利用水力舂米的水碓。在战国时期，南方已经采用水力代替畜力进行磨粉，发明了水磨。水碓和水磨的发明，提高了一定的劳动效率。西晋的杜预发明了连机碓，利用水力同时驱动几个石杵舂米；同时他还创造了水转连磨，在水力充足的地方，能带动八个磨同时进行磨粉。连机碓和水转连磨的发明，无疑提高了粮食加工的效率。但是它们是分开的，碓和磨不能同时使用，仍有不方便之处。祖冲之的水碓磨就是根据连机碓和水转连磨的结构而改进的，他把水碓和水磨结合起来，能同时舂米和磨粉。由于这种机械直接服务于农业劳动，因此得以推广，流传至今，虽然有所改进，但仍是在祖冲之的基础上进行的。

水碓磨的创制是祖冲之在机械制造方面的重要贡献。

## 计时器及欹器

做为天文历法科学家的祖冲之，由于研究的范围很广，所以也对计时器进行了研究改革。他制造过计时器——漏壶。

祖冲之从青年时代开始就用大量时间从事天文观测。他观测所使用的仪器，除前面提到的铜表之外，还有计时器——漏壶。只有时间比较准确，观测所得到的结果才更可靠。因此，祖冲之对传统的计时器漏壶进行了研究，并有所改革。

漏壶计时是这样的：上面有一个底部有小孔的斗，里面盛水；下面有一个桶，其中立一个很轻的浮标，上面有刻度。古时把一昼夜分为一百刻，故浮标上的刻度也就有一百个。用一根很细的管将斗底部的小孔与桶连接，使斗里的水一滴一滴地流到桶中。由于桶中的水不断增加，水面增高，浮标随之上升，根据浮标上的刻度就能知道时间。

浮标上的一百刻又按十二个时辰划分成几段，用段的分界点代表一些特殊时间。对于特殊时间的安排，历代漏刻有所不同。祖冲之对此作了重新安排，使之更符合人们的作息规律，便于对时间的安排。

祖冲之还制做过欹器。“欹”，是倾斜的意思，“欹器”，是指自由状态下放置时呈倾斜状态的器皿。早在五千年以前，陶器已普遍使用，在出土文物中有一种尖底陶罐。它底尖、口小、中间大肚，腹部有两耳。不盛水时成倾斜状；水不太满时就直立；水满了就自动倾斜，将水倒出一些，继续保持直立状态。这是根据重心原理制造的。用它去提水，当水快满的时候，水

罐就自动直立，便于人们提水。到了春秋时期，根据尖底陶罐的原理，有人制造了欹器。孔子用它来教育自己的学生要谦逊，把“谦受益、满招损”的寓意赋予给了欹器。然而欹器的制造方法到东汉却失传了。

祖冲之时，齐武帝的儿子竟陵王萧子良十分喜好古玩，但找不到欹器的实物。祖冲之就造了一件欹器送给他，并希望他能记住欹器所具有的特殊含意。而在祖冲之前二百多年间，从没有人制出过成功的欹器。

## 交通及运输工具的改进

交通和运输工具随着社会的不断发展，逐渐地提高自身的速度及运载量。内外贸易、人员的流动、战争等方面的因素，都需要更方便迅速的交通工具。南朝大部分地处水乡，长江、珠江等水系有很大面积都在南朝境内，此外还有很多的湖泊水泽以及漫长的海岸线。因此水上交通对于南朝非常重要。当时南朝的海外贸易也有所发展，造船技术不断地改进和提高。

在这种客观条件下，为了适应经济发展的实际需要，发展航运事业，祖冲之注意研究水上交通工具。经过反复调查、设计和试验，他制造了一种千里船。这种船不用帆和桨，靠转轮激水前进。千里船制成后在建康南面的新亭江中试航，一天能航行一百多里，速度高于一般的船只，有些类似于近代的轮船，只是它的动力依然要靠人力来提供。后来在唐、宋时代，也出现过这类船只。

对于陆上交通工具，祖冲之也有研究和发明。为了改进陆上运输交通工具，他从各方面搜集资料，进行试制。他从《三国志》上看到诸葛亮发明“木牛流马”来运输粮草的记载，受到启发，经过长期研究，创制了一种陆上运输工具。这种工具的构造很巧妙。据古书记载，这种运输工具不用借助风力和水力，不用人来操作，发动一个机关就能自己运行。可惜这种运输工具没能流传下来。

## 六、晚年的祖冲之

祖冲之的晚年，正值南齐后期，统治阶级内部矛盾尖锐，政治黑暗，社会动荡不安。

在这种情况下，祖冲之的研究方向有了很大的变化。他着重研究文学和社会科学，同时也比较关心政治。

祖冲之曾为《易经》、《老子》、《庄子》、《论语》、《孝经》等古代哲学、文学书籍作过注。此外还著有小说《述异记》十卷。但这些著作都象《缀术》一样失传了。

此外，祖冲之对于音乐理论也很有研究，达到当时的最高水平。我国古代音乐音阶的各个音称为“律”，最初只有五个，叫“五音”或“五律”，

以后发展为七律、十二律。每个律有专门称呼，如“五律”的名称分别是：宫、商、角、徵（音 zhǐ）、羽。音律是指选择构成音阶的各个音间的规律。如何来辨别这些音律呢？这里有一定的标准。古时有一种叫做“黄钟律管”的专门工具，可以按照它的长短对音律进行校正。另外，黄钟律管还具有校正度量衡的作用。祖冲之研究过晋初的铜尺和黄钟律管。

在我国古代，数学理论和音乐理论有许多相通之处，有着密切的联系，精通数学的祖冲之，精通音乐理论是很自然的事。

公元 493 年，齐武帝萧赜刚去世，继承皇位的齐明帝为了稳固皇位大杀皇族，又引起统治集团内乱。随后，北朝的北魏趁机出兵进攻南齐，战争从 494 年持续到了 500 年，齐的军事重镇寿阳（今安徽寿县）也被北魏占领。南齐很快地衰亡了。

在齐明帝时，祖冲之除了继续担任原有的职务外，又被任命兼任军职——长水校尉。长水校尉的具体职务是管理国内的少数民族部队，其中大部分是南齐和北魏作战时招降和俘虏的北朝士兵。南齐把年近七十的祖冲之从文职调任军职，说明南朝统治者已经无力维持局面，同时也说明了祖冲之本人有一定的军事才能，并且也愿意在军事方面为国家贡献自己的力量。

祖冲之在其晚年，不仅担任军职，而且还提出了“富国强兵”的政治主张。他作了《安边论》这一政治军事论文上报朝廷，希望政府在北部边防前线附近进行屯田和移民，以增加国家的经济实力和军事实力。可惜这篇文章也没能流传下来，我们只能从其它书上的一些零星记载中猜想《安边论》的内容了。祖冲之不仅提出了《安边论》，而且还积极创造各方面的条件，准备实施他的设想。所以他到各地进行视察，并兴办了一些建设事业。可是，当时南齐的统治已经无法再维持下去。国家政权摇摇欲坠，再加上南北朝之间的连年战争，祖冲之良好的政治主张无法在国家内部施行，更无法实现了。

祖冲之一生从事科学研究和政治活动，在作出了杰出的贡献之后，于公元 500 年（齐永元二年）与世长辞，终年七十二岁。但他开创的科学事业并未因他的去世而停步不前，他的儿子祖暅（音 gèng）、孙子祖皓都精通科学，在祖冲之的身后作出了自己的贡献。

## 七、科学研究后继有人

我国历史上出现过不少父子相继的世家。象文学世家（如曹操、曹丕、曹植；苏洵、苏轼、苏辙）、史学世家（如班彪、班固、班昭）、书法世家（王羲之、王献之）；同时也出现过一些科学世家，祖冲之与其子祖暅、其孙祖皓就是三世相传的科学世家。

祖暅，字景烁，主要生活在南齐和以后的梁朝。他自幼继承父业，在父亲的精心教育下，认真钻研科学，他思维敏捷又学习刻苦，所以进步迅速。在很年轻的时候，就对天文历法和数学有了深入的研究，为他后来的科学工作打下了良好的基础。当他钻研学术入神的时候，连雷震的霹雳声也听不见。据说有一次，他走在路上，边走边思考问题，不知不觉地撞到迎面而来之人

的身上还没什么感觉，直到那人叫他，他才明白过来。由此可见祖暅的勤学与刻苦钻研的精神，别人都认为他的治学态度不亚于其父。因此，祖暅在学术上取得了不少的成就。尤其是天文历法和数学。

## 天文观测与发现

祖暅从小就研究家学，所以对其父的《大明历》更是了如指掌。祖冲之终其一生，没能看到自己的《大明历》被采纳使用。在他去世后，祖暅为了完成父亲的未竟之业，继续研究《大明历》，进行天文实测，并且先后三次向梁政府进行推荐，终被采纳。

天文学研究注重实地测量，这是我国古代优良天文工作优良传统，是一种正确的研究方法。在梁朝初年，为了更清楚地观测天体及其运动情况，祖暅不畏困难与危险，选择了天文观测条件良好的嵩山做为临时观测站。当时南朝和北朝大体上以黄河为界，黄河以南地区属梁，以北为北魏。嵩山也就是五岳之一的“中岳”，位于今河南登封县北，向北不远处就是黄河，离两朝统治区分界线不远，所以常有战乱冲突。在这里进行古文观测，存在一定的危险性。

祖暅在嵩山建立了临时观测站后，不分昼夜的进行观测。他在观测站直立了一根八尺高的铜表，下面与一个石圭垂直。在石圭面上开出一个小沟，沟内注入清水，用以定平，起水准器的作用。这个设备虽然很简单但对后世的天文测量有很大影响。

祖暅用这种仪器来继承他父亲的天文观测工作，一个是日影长度观测，他的作法就象其父所做的那样。而“测地中”，祖暅的方法也是先立一表叫“南表”，等到正午时刻在表影之末再立一表称为“中表”。如果时间准确无误，那末南表与中表连线所指示的方向就是南北方向。为了核对南北方向。他在夜间登上嵩山去观测历来用于定位的北极星。嵩山在中原地区拔地而起，附近又少烟尘，在天晴的夜晚，北极星看得很清楚，所以他希望通过北极星来校正南北方向。夜间，他通过中表来望北极星，并于中表之北立一“北表”，使中表、北表的连线与北极星的位置处于同一直线上。到第二天正午再根据三表的日影是否在同一直线上来判断南表和中表连线的方向是否正好指向南北，结果是否定的。经过多次的反复观测和研究，所得结果都是否定的。所以祖暅得出了北极星与北天极并不相同而是有所偏离的结论。

这是一个很重要的天文发现，从此它打破了北极星就是天球北极这个相传已久的错误看法。是祖暅的一项重要成就。

为了研究天文的需要，祖暅也研究过漏壶记时器。在天监六年(公元507年)，由于梁政府所用的漏壶不准确，所以梁武帝曾令他重新制造一个。同时他著有关于计时器的专著——《漏刻经》，但早已失传。

**“祖暅定理”成就非凡**

祖冲之对于圆周率的精确推算使他留芳青史，祖暅对于球体积计算公式的求得，亦使他被后人所纪念。

祖暅和他父亲一样，年青时代就成为当时的著名数学家。北齐学者颜之推曾对祖暅的数学才能给予了高度评价。而祖暅在数学方面所取得的最大成就就是最终求得了球体积的计算公式。

在《九章算术》中，就有已知球的体积反求其直径的问题。由此，可推出当时的球体积公式为：

$$V = \frac{3}{2} r^3 \quad (V \text{代表球积, } r \text{为半径})$$

这个公式与我们现在使用的正确公式  $V = \frac{4}{3} r^3$  相比较，大了  $\frac{1}{6}$ 。

这个不够准确的公式首先被东汉张衡发现它与实际不符，张衡进行了研究，但没能解决问题。三国时的刘徽也发现的这个问题，经过反复实验研究，他由正方形与其内切圆的面积之比为 4 :  $\pi$ ，推得正方体与其内切球体体积之比也是 4 :  $\pi$ 。由此，他先作了一个球的外切正方体，再用两个直径等于球径的圆柱体从立方体内互相垂直贯穿，这时球就被包在两相交圆柱的公共部分，而且和圆柱相切。刘徽只保留两圆柱的公共部分，因为它的外表象两把上下对称的正方形伞，于是把它取名叫“牟合方盖”。古时称伞为“盖”；“牟”是相等的意思。这时当球与“牟合方盖”同时被水平截面所截，两截面面积之比就是  $\pi$  : 4；它们的体积之比也应是  $\pi$  : 4，即

$$V_{\text{球}} : V_{\text{牟合方盖}} = \pi : 4,$$

由此得

$$V_{\text{球}} = \frac{\pi}{4} V_{\text{牟合方盖}}。$$

如果牟合方盖的体积能够求得，那么球的体积也就得到了解决。但刘徽最终没能求出牟合方盖的体积，只好留下了的遗愿，希望后人能解决这个问题。

刘徽的遗愿，在他逝世二百年后终于得到实现，祖冲之父子完成了这项事业。祖氏父子也是依据刘徽的思路，把牟合方盖做为解决问题的钥匙，经过反复研究，他们发现了著名的原理：“缘幂势既同，则积不容异。”这句话中“势”指高，“幂”指面积，意思也就是：介于两个平行平面之间的两个立体，如果它们的高相等，当两者被任意一平行面所截，而截面相等时，则两立体的体积也必相等。根据这个原理，考虑到球的外切立方体去掉牟合方盖的剩余部分与牟合方盖体积对比关系，最终求得了牟合方盖的体积公式为

$$V_{\text{牟合方盖}} = \frac{2}{3} (2r)^3。$$

代入刘徽的结果  $V_{\text{球}} = \frac{\pi}{4} V_{\text{牟合方盖}}$ ，经整理得到

$$V_{\text{球}} = \frac{4}{3} r^3，$$

这就是球体积的正确公式。当时祖氏父子以  $\pi = \frac{22}{7}$  代入，公式就变形为

$$V_{\text{球}} = \frac{11}{21} (2r)^3。$$

就这样，球体体积计算得到了最后解决，这是我国数学史以及世界数学史上一件重要事情。而前面所提到祖氏父子发现的原理在祖暅时被最终确定，所以也被称为“祖暅定理”。“祖暅定理”与球体积公式的提出，是可以与圆周率的精确推算相媲美的伟大贡献。在国外，直到十七世纪才由意大利数学家卡瓦雷利重新提出。晚于祖氏父子一千一百多年。

根据唐朝王孝通的记载，知道祖暅也作有《缀术》一书，是对祖冲之《缀术》的补充，并且记载了祖暅与其父推求球体积公式的过程，以及棱台、楔形体等几何方面的内容。这本书在当时得到人们的一致好评，被赞为“精妙之作”。可惜也早已失传。

此外，祖暅对于建筑和土木工程设计也有研究，担任过梁朝掌管官府中的工匠和建筑工程的材官将军。天监十三年（公元 514 年），梁武帝下令征发军民共二十万人，修筑浮山堰（今安徽凤阳东北），企图阻塞淮河，水灌被北魏占领的寿阳城（今安徽寿阳县）。祖暅等有关人员奉命勘测地质情况，他们发现堰址松软，不宜筑堰，上报梁武帝。梁武帝不听，坚持在原址筑堰。一年半以后，在付出了无数人的生命和大量物资的情况下，浮山堰筑成了。寿阳城虽然被冲毁了，但附近百姓也流离失所，只好住在山岗和高地上。接着，在天监十五年（公元 516 年）秋，此地连降大雨，引起洪水泛滥，浮山堰被冲溃，大水瞬时汹涌而出，吞没了淮河沿岸的村镇，十多万人被夺去了生命，还有更多的人无家可归，到处是一片凄凉的景象。这个悲惨事件的祸首应该是刚愎自用的梁武帝，但他却迁罪于浮山堰的施工负责人员，祖暅因此被判刑入狱。

刑满出狱后，祖暅失去了科研的信心，很少从事科学活动了。后来他把更多的时间转向了研究术数（占卜问卦），著有《天文录》和《天文录经要诀》等有关术数方面的书；此外，他还著有《权衡记》一书，是讲度量衡制度的。但这些书也都早已失传。

读到这里，我们会发现：为什么祖氏父子的著作都失传了呢？究其原因，既有天灾，又有人祸。我国是一个有着五千年文明历史的国家。随着社会的进步，文化的发展，书籍的品种与数量也在不断增长；但在增长的同时，图书散失，消亡的现象也十分严重。对于这一现象，隋朝的牛弘作出了历史总结，首先提出了“五厄”之说，把图书在较短时间内遭到大规模毁坏称为一厄。按照这一思路，中国古代和近代我国的图书典籍大致遭受了十二厄。

#### 1. 周室衰微

春秋初年，周王室衰微，诸侯势力膨胀。他们认为周王朝的典章制度严重妨碍了自己的政治野心，于是便从记载着这些典章制度的周王室藏书入

手，进行大肆破坏。使得图书损失严重，如《仪礼》最初有三千篇，至二百多年后的孔子时，经搜集整理仅存十七篇。

## 2. 始皇焚书

秦始皇统一中国后，为了控制人民思想，下令焚烧除秦史、医药、卜筮、种树以外的一切书籍。这次焚书给我国古代文化典籍带来了无法估量的损失，先秦的典籍，在系统上被无可挽回地破坏了。

## 3. 项羽入关

秦朝灭亡后，公元前 207 年，项羽率军进入秦都咸阳，大肆烧杀掠夺。秦始皇焚书时，曾允许自己的博士官收藏部分诸子百家书籍。但至此，博士官收藏的这些书也被付之一炬。先秦的许多书籍也就因而失传。

## 4. 更始战乱

公元二十五年，农民起义军“赤眉军”在樊崇带领下攻入国都长安。杀死更始帝刘玄，并将长安的宫殿、街市、民房全部烧毁。西汉二百年间所搜集、整理的三万多卷皇家藏书也随之被焚。

## 5. 元帝焚书

南朝梁元帝萧绎酷爱藏书、读书。公元 554 年，北朝西魏军攻破梁都江陵。梁元帝认为自己读了那么多书，还落得个国破家亡的下场，因此将亡国之恨全发泄到图书之上，将十四余万卷图书全部焚毁，南朝二百余年间收藏的图书至此消亡殆尽。

## 6. 炀帝焚纬

隋炀帝杨广即位后，派使者搜求天下书籍。但同时又将搜集到的与占卜讖（音 chèn）纬有关的图书全部焚毁。占卜讖纬类图书虽然宣扬迷信，但其中也有不少有用的资料，特别是一些早期的科技知识也因此失传。焚纬后剩下的隋政府藏书中的三十七万卷被炀帝带到江都，这部分图书在隋末战乱中，全部散佚。

## 7. 安史之乱

公元 755 年，唐将安禄山、史思明发动叛乱，不久即攻陷了洛阳、长安，唐王朝在这两处收藏的八万余卷图书被焚毁殆

## 8. 广明之乱

唐僖宗广明元年（公元 880 年），黄巢率农民起义军攻入国都长安，把长安的宫殿、官署等政府机构全部焚毁。唐政府在安史之乱后所搜集的十二大库五万多卷图书也随之荡然无存。

## 9. 绍定之灾

南宋理宗绍定四年（公元 1231 年），都城临安发生火灾。大火将收藏图书的秘书省、玉牒所等处全部烧毁。南宋历朝搜集的图书六万余卷在这次火灾中损失大半。

## 10. 绛云楼灾

绛云楼是明末清初著名学者钱谦益的藏书楼。钱氏藏书名满天下，收藏

之书有七十多大柜，藏书的数量、质量都与当时皇朝内府的藏书所差无几，更有大量的孤本。1670年，绛云楼不幸遭到火灾，藏书大部分被焚毁。

#### 11. 乾隆禁书

1772年，清乾隆帝下诏征求天下书籍，为编修《四库全书》作准备。在征书的同时，又把不利于清朝统治的书籍、书版全部禁毁，十年间就销毁了十余万卷图书，给文化典籍带来了一场巨大浩劫。

#### 12. 八国联军劫难

1900年，八国联军攻入北京，劫掠财物、屠杀人民，大量的文物典籍或遭焚毁，或被抢劫。历经磨难的我国最大的类书《永乐大典》，经八国联军焚毁、抢掠，散亡殆尽。

在这十二次书厄之外，还有着无数次规模较小的图书被焚毁及散失现象，它们加起来的总量也是相当惊人的，这都给我国的文化事业造成了无法弥补的巨大损失。

可以看出，图书这十二厄大多是由朝代变更、战争频繁或自然灾害引起的，它们给图书造成的损失是有形的，可以被人们看到。

图书在有形消亡的同时，还存在着无形的消亡，它是由人的主观因素所造成的，有以下两个原因：

一是因人们的好恶而造成的。比如人们都喜欢的文辞优美的图书流传就广，保存下来的可能性也大。

二是古今价值取舍观的差异造成的。古人重经史、轻科技，把科技称为旁支末道，因而古代科技书散失的现象就比较严重。

由此可以发现，祖氏父子的著作除了在天灾人祸方面难逃厄运外，受轻视也是一个重要原因。所以很可惜，我们无法从两人的著作中进一步去研究，认识他们了。

祖暅之子祖皓受到家传，也精通数学和天文，继承了父祖的科学事业。梁武帝末年，他任广陵郡（今江苏扬州）太守。不久，发生了北朝降将侯景的叛乱，忧国爱民的祖皓起义声讨侯景，结果兵败被害。三世相继的科学世家到此也就绝后了。

### 八、有益的启示

祖冲之是我国南北朝时期的一位胸怀大志、有理想、有抱负的伟大科学家。他以自己卓越的科学成就，为我国优秀的历史遗产和浩瀚的文化典籍，增添了夺目的光彩。他是一位杰出的天文学家。是他，打破了近千年的已不符实的旧闰法；是他，第一次把“岁差”引入了历法，使得天文观测更加准确；是他，提出了交点月的概念，使天文学有关月的概念更加完善。他是一位卓越的数学家，早在一千五百年前，当时大部分欧洲人还没有摆脱原始愚昧的状态，祖冲之就已经把圆周率值推算到小数点以后七位，比欧洲早了一千年；他又与其子祖暅共同发现了“幂势既同，则积不容异”的原理，比欧洲要早一千一百年。他是一位优秀的机械工程师，创制了水碓磨、制成了千

里船、重造了指南车。他还是一位思想家，为诸子百家之书和其他经书作过注，进行过深入研究。这些成就，有许多在世界科学史上占有重要的地位，从一个侧面证明了我国是世界文明发达最早的国家之一。

祖冲之在科学上之所以能够取得辉煌的成就并非偶然，既不是仅凭自己的天赋，更不是依靠运气。而在于他一生中孜孜不倦地刻苦钻研，不怕烦琐，勇于实践，不畏权贵而锐意进取。

在科学研究中，祖冲之能够虚心学习前代科学家，深入钻研他们的优秀成果。他并不墨守成规，受前人研究思想的束缚，而是在汲取前辈科学家们的优秀成果的过程当中，积极通过亲身的科学实验与观测去验证前人的成果，以达到去伪存真，发扬其精华、剔除其糟粕的目的，以便推陈出新，创造出新的成就。而当某种新的成果出来之后，往往会遇到守旧势力的攻击。为了捍卫新的科学成果，坚持真理，祖冲之敢于和阻挠科学进步的旧势力作坚决的斗争。正是这种勇于创新、锐意进取的精神，使祖冲之创造了科学上一个又一个的奇迹，把那些阻挠他前进的人扫到了历史的角落里。

祖冲之具有广博精深的学识和解决实际问题的能力。这种能力的获得，固然在一定程度上依靠天赋，但更多的是以刻苦的钻研与亲身投入科学实践中才能得到的。祖冲之为了掌握前代科学家们的优秀成果，不辞辛苦，广泛地攻读古代文献典籍，深入钻研前代科学家的研究成果。以研究古代历法为例，据史书记载，他纵览了从远古到魏晋南北朝的一切所能找到的天文历法书籍，这些书籍的浩繁与深奥，自是不言而喻。为此，他耗费了大量的精力，付出了辛勤的劳动。《大明历》在他的身后能得以推广就是明证。

在古代，一个好的天文学家同时也是一位好的数学家。因为要推算天文历法所需数值，就要有相当的数学计算能力。祖冲之就是一位代表。为了检验古代天文历算理论的正确与否以及他的计算成果是否准确无误，他都要亲自使用天文仪器观测天象，运用数学进行反复推算。如前所述，在青年时代祖冲之就曾经十年如一日地进行日影长度的测量。而圆周率值从“周三径一”的古率到精确到小数点后七位的“祖率”，又是祖冲之在度过了无数日日夜夜呕心沥血的劳动后对于科学的巨大贡献。没有非常大的毅力与耐心，是无法取得这样的成就的。

祖冲之的学风，不仅造就了他自己，同时在潜移默化中影响了他的后代。祖氏父子共同研究，求得球体的体积公式，更是科学史上的一段佳话。

祖冲之的科学活动与当时社会生产力的发展是有密切关系的。他的不少科学成果，如水碓磨等在当时和以后的工农业生产方面起到了良好的作用。从他所著的《安边论》中可见他十分关心国计民生，想多作一些对百姓有利的事情。做为一个封建官吏来说，他也是一个为官一时就造福一方的好官。

祖冲之是我国历史上的一位伟大人物。在科学方面，他取得了卓越的成就，赢得了无数人的敬仰和怀念。在月球上有“祖冲之环形山”；小行星中有“祖冲之星”；我国于1955年发行的“纪念中国古代科学家”邮票当中，

有一枚就是祖冲之的肖像。祖冲之具有一位科学家所应具备的一切优秀素质，他勤于思考、深入钻研、勇于进取；他重视实践、毅力过人。他的优秀品质和严谨的治学态度，永远受到后人的仰慕和学习。

