

中国科学院研究生院演讲录

科学的魅力

【第一辑】

与顶尖科学家相约报告厅
听一流人文学者讲道科学院

余翔林 主 编
邓 勇 副主编

 科学出版社
www.sciencep.com

中国科学院研究生院演讲录

【第一辑】

科学的魅力

余翔林 主 编

邓 勇 副主编



科学出版社

2002

内 容 简 介

中国科学院研究生院从建院伊始,就以面向世界、开放办学为宗旨,聘请世界一流的科学大师、学术巨匠来院授课、讲学。近期以来,一批著名科学家和人文学者在研究生院(或院内研究所及论坛)所作的报告或讲座,在研究生中引起了强烈的反响,取得了良好的效果。

这套丛书汇集了各种报告或讲座中具有代表性的一部分,旨在创设一种民主自由的学术氛围,使各种观点、理论相互切磋、撞击,让读者置身于一个清美高洁,又五彩斑斓的学术百花园,走近当今科学研究、人类与社会发展问题研究的最前沿,启迪思维,丰富知识,感触时代前进的强劲脉搏。同时,也让更多的人有机会走近顶尖科学家与一流人文学者,走进他们的精神世界,感受其上下求索的科学精神、特有的思想人格魅力以及深蕴其中的人文关怀,濡染芬芳与智慧,激发灵感与理性。

图书在版编目(CIP)数据

科学的魅力/余翔林主编,邓勇副主编. —北京:科学出版社,2002
(中国科学院研究生院演讲录,第一辑)

ISBN 7-03-010094-8

I. 科… II. ①余… ②邓… III. ①自然科学-文集②人文科学-文集 IV. Z427

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 005411 号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2002年4月第 一 版 开本:A5(890×1240)

2002年4月第一次印刷 印张:9

印数:1—6 000 字数:225 000

定价:20.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

《中国科学院研究生院演讲录》

编 委 会

主 编 / 余翔林

副 主 编 / 邓 勇

编 委 / (按姓氏笔画排列)

邓 勇 吕晓澎 余翔林

杨炳忻 赵 力 颜雪红

编委会秘书 / 张兆华

序

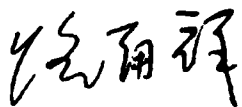
21 世纪,世界已步入了知识经济时代,科技实力决定着国家综合国力的强弱和国际竞争力的高低,而高层次专门人才的数量和质量则是衡量科技实力的决定性因素之一。面对新世纪的严峻挑战,提高研究生教育质量,培养更多高素质的专门人才是建设国家创新体系、实施“科教兴国”的战略,增强我国综合国力和国际竞争力的重要途径。

在过去的 50 多年里,中国科学院为国家培养和造就了大批高级科技人才。在新的世纪,中国科学院提出了“面向国家战略需求,面向世界科学前沿,加强原始科学创新,加强关键技术创新与集成,攀登世界科技高峰,为我国经济建设、国家安全和社会可持续发展不断做出基础性、战略性、前瞻性的重大创新贡献”的新的办院方针。在此方针指引下,中国科学院整合全院的教学资源、科技资源和智力资源,组建全新的中国科学院研究生院,对研究生教育体制进行了重大改革。

研究生作为中国科学院从事科学研究的一支重要的生力军和后备军。在人数上将占到整个队伍的一半以上。在新的历史时期,研究生教育是中国科学院可持续发展的重要生命线。中国科学院研究生院承担着为中国科学院知识创新工程提供人才保障和为国家现代化建设培养造就高科技人才的重任。

为了培养出更多既具有宽厚扎实的基础知识,又具有敏锐的科学探索精神和活跃的创新思维和创新能力的的高素质人才,中国科学院研究生院从 1978 年建院伊始,就进行了广泛的探索与尝试,在突出科学教育和创新能力培养的同时,重视全面教育,倡导文理交融、理工结合。聘请一流科学家和知名学者来院授课、讲学就是其中比较重要的举措,这些报告或讲座在研究生中引起了强烈的反响。

余翔林、邓勇等同志将这些报告或讲座汇集起来，编辑了《中国科学院研究生院演讲录》“科学系列”丛书，内容涉及科技、经济、文化、历史、教育、法律等领域的前沿问题。这是一项非常有意义的工作，为广大青年学生和青年科学工作者提供了一系列感受科学家们科学魅力和思想文化魅力的非常有价值的读本，也可做为高等院校加强研究生全面素质教育的参考读物。

A handwritten signature in black ink, reading '余翔林' (Yu Xianglin) in a cursive style.

2002年3月6日

前言

近年来，我们曾邀请过国内外众多著名科学家、学者、教授，在中国科学院研究生院及各研究所和有关论坛，为在读研究生和青年科学工作者开设各种讲座，倡导科学教育与人文教育的结合，使学子们不仅感受到献身科学的精神力量，也感悟到健全人格的内在魅力，使得探索真理，追求自由，完善道德，逐步成为学子们共同的理念，以期有朝一日蔚然成风。

讲座中的热烈场面与洋溢的青春活力，平等有趣的提问与对话，常常使先生们为之感动，学生们为之激动，也每每促使我们萌生编辑这套“科学系列”演讲录的愿望。

回想起 2000 年世纪之交的时刻，一位令中国科学家们敬仰的白发老人——张劲夫同志，发出了“请历史记住他们”的深情呼唤，人们才以惊异的目光，第一次知晓了五六十年代，中国科学院的科学家们在极其艰苦的条件下，以顽强的毅力、科学的智慧、感人肺腑的牺牲精神和创造才干，在“两弹一星”的研制中，为共和国建树了不朽的丰功伟绩。这是一曲“生命精神”的赞歌，她曾感染和引领我们一代又一代的青年学子为祖国的科学事业献身。

在新中国建立以来漫长的 52 年中，中国科学院在郭沫若、方毅、卢嘉锡、周光召、路甬祥五位院长的领导下，经历了 20 世纪 50 年代的辉煌、60 年代的迷茫，迎来了 70 年代冰消云散的科学春天、80 年代的改革开放、90 年代的大踏步前进和新世纪科技创新全面发展的灿烂阳光。

这期间，中国科学院不仅为共和国创造了伟大的科学成就，也为国家造就了许多科学巨人和科学大师，培育了千千万万的科学青年，成为国家当之无愧的科学研究和科学教育的神圣殿堂。

五十多年来，中国科学院的研究生教育和人才培养一直与国家



战略需求及国际科技前沿的重大研究工作相伴而行，并创造了在世界上由国立研究机构独立招收、培养研究生，并授予学位的具有中国特色的学位制度；创造了学位课与研究论文在中国科学院研究生院和各研究所分别进行的两段式培养模式；以及在全面素质教育中突出科学教育和创新能力培养的三项重要经验，从而使中国科学院成为国家高级科技人才培养的重要基地之一，研究生也成为中国科学院科研队伍中一支重要的生力军与后备军，成为中国科学院 21 世纪可持续发展的生命线和保持队伍常新、科学思想常新的源头活水。

为了使学生在学业上及在道德、品性、体魄、心理和文化修养上得到全面发展，成为对国家、对社会有用的人，我们不仅要让学生继承中国知识分子忧国忧民的传统，还要将它与创造新科学、新文化的激情结合起来，使学生在短暂的学习期间能较广博又有选择地吸取人类创造的优秀文化与文明，在民主自由的学术氛围中，使各种观点、理论相互切磋、撞击，产生出新的思想火花，让学生好似置身于一个清美高洁，又五彩斑斓的学术百花园，濡染芬芳与智慧，激发灵感与理性，留下一生中最美好的记忆。

为此，我们编辑了这套“中国科学院研究生院演讲录”，即“科学系列”演讲集，以期与北京大学等编辑的“思想系列”、“人文系列”演讲集相映成辉，成为学生们心仪的读物。

王国维先生曾说：“无高尚伟大之人格，而有高尚伟大之文章者，殆未之有也。”推崇“高尚人格”为做人、做学问之基础。

杨振宁先生也曾多次引用古诗：“性灵出万象，风骨超常伦”来比喻科学创造中“性灵”与“风骨”的重要，以弘扬中国文化之真传，愿以此语与年青的朋友们共勉。

《中国科学院研究生院演讲录》编委会

2001 年 8 月 30 日

目录

序

前言

数学的机械化	/ 吴文俊 (1)
纳米时代在招手	/ 白春礼 (3)
哪里会有地外理性生命的家园	/ 赵 刚 (31)
海洋资源可持续利用	/ 刘光鼎 (41)
基因之我见	/ 杨焕明 (51)
在灵性的王国里耕耘	/ 郭爱克 (59)
计算机能识别什么	/ 谭铁牛 (77)
计算机技术发展的历史、现状与趋势	/ 高 文 (87)
声学——科学、技术与艺术	/ 田 静 (101)
科技创新与人文精神的互动	/ 郭传杰 (125)
当前经济体制改革的一些热点问题	/ 吴敬琏 (147)
关于科学发展历史的若干思考	/ 董光壁 (177)
薄膜生长中的表面动力学问题	/ 王恩哥 (209)
西部大开发的法律问题	/ 夏 勇 (217)
素质教育和创新能力培养	/ 余翔林 (231)
笑迎风雨人生	/ 高登义 (257)

数学的机械化

吴文俊



作者小传

吴文俊 /男，1919年5月12日生，上海人。1957年当选为中国科学院院士。1949年获法国国家博士学位。现任中国科学院系统科学研究所名誉所长。1991年当选第三世界科学院院士。曾任中国科学院数学学部主任、中国数学会理事长、第五～八届全国政协常委。他在拓扑学、自动推理、机器证明、代数几何、中国数学史、对策论等研究领域均有杰出的贡献，在国内外享有盛誉。他在拓扑学的示性类、示嵌类的研究方面取得一系列重要成果，他的研究是拓扑学中的奠基性工作，并有许多重要应用。他的“吴方法”在国际机器证明领域产生巨大的影响，有重要而广泛的应用价值。当前国际流行的主要符号计算软件都实现了吴文俊教授的算法。1986年在国际数学家大会上做邀请报告。1991年任国家科委攀登项目“机器证明及其应用”首席科学家。从1956年到1997年曾先后获得国家自然科学一等奖、第三世界科学院数学奖、陈嘉庚数理科学奖、香港求是科技基金会杰出科学家奖、国际Herbrand自动推理杰出成就奖，2001年获首届国家最高科学技术奖。



十六、十七世纪以来，人类历史上经历了一场史无前例的技术革命，出现了各种类型的机器，用以取代各种形式的体力劳动，使人类进入了一个新时代。几百年后的今天，正如周总理早在 1956 年就指出的那样，电子计算机已经开始有条件地代替一部分特定的脑力劳动，因而人类面临着另一场更宏伟的技术革命，处在又一个新时代的前夕。数学是一种典型的脑力劳动，在这场新的技术革命中，它无疑将扮演一个重要的角色。为了了解数学在当前这场革命中扮演的角色，我们应该对机器的作用以及作为数学的脑力劳动的方式进行一定的分析。

一、什么是数学的机械化

不论是机器代替体力劳动，还是计算机代替某种脑力劳动，其所以成为可能，关键在于所需代替的劳动已经“机械化”，也就是说已经实现了刻板化或规格化。因为割麦、刈草、纺纱织布的动作已经是机械化、刻板化的了，所以可据以造出割麦机、刈草机、纺纱织布机来。也正因为加、减、乘、除、开方等运算这一类脑力劳动，几千年来就已经是机械地、刻板地进行的，才有可能使得 17 世纪的法国数学家巴斯喀利用齿轮传动造出了第一台机械计算机——加法机，并由莱布尼茨改进成为还能进行乘法运算的机器。数学问题的机械化，就要求



在运算或证明过程中，每前进一步之后，都有一个确定的、必须选择的下一步，这样沿着一条有规律的、刻板的道路，一直达到结论。

在中小学数学的范围里，就有不少已经机械化了的课题。除了四则、开方等运算外，解线性方程组就是一个很好的例子。在高中数学课本中，介绍了现代数学鼻祖高斯（Gauss，德国人，1777~1855）解线性方程组的一种“消去法”。其求解过程是一个按一定程序进行的计算过程，也就是一种机械的、刻板的过程。根据这一过程编成程序，由电子计算机付诸实施，不仅可以实现机器化，而且能达到自动化，在几分钟内求出多达上百个未知数的线性方程组的解，这在手工计算中自然是不可可能的。如果用手工计算，即使是解只有三四个未知数的方程组，也是繁琐而令人厌烦的。在现代化的经济建设和国防建设中，大量出现的例如网络一类的问题，往往可归结为求解很多未知数的线性方程组，这使得已经机械化了的线性方程组解法能起到重要作用。

数学的脑力劳动有两种主要形式：数值计算与定理证明（或许还应包括公式推导，但这终究是次要的）。著名的数理逻辑学家王浩教授在一篇《向机械化数学前进》的著名文章中，曾列举了这两种数学脑力劳动的若干不同之处。我们可以简略而概括地把它们对比一下：

计算	证明	计算	证明
易	难	刻板	灵活
繁	简	枯燥	美妙

计算，如已经提到过的加、减、乘、除、开方与解线性方程组，其所以虽繁而易，根本原因在于它已经机械化。而证明的巧而难，是大家都有体会的，其根本原因在于它并没有机械化。例如，我们在中学初等几何定理的证明中，就经常要依靠诸如直观、洞察、经验以及其他一些模糊不清的原则，去寻找

捷径。

二、从证明的机械化到机器证明

一个值得提出的问题是：定理的证明是不是也能像计算那样机械化，因而把巧而难的证明化为计算那种繁而易的劳动呢？事实上，这一将证明机械化的设想并不始自今日，早在 17 世纪时，大哲学家、大思想家和大数学家莱布尼茨就有了这个想法。只是直到 19 世纪末，希尔伯特（Hilbert，德国数学家，1862~1943）等创立并发展了数理逻辑以后，这一设想才有了明确的数学形式。又由于 20 世纪 40 年代电子计算机的出现，才使这一设想的实现有了现实可能性。

从 20 世纪二三十年代以来，数理逻辑学家们对于定理证明机械化的可能性进行了大量的理论讨论，他们的结果大都是否定的。例如哥德尔（Godel）等人的一条著名定理就说，即使看来是在最简单的初等数论这一范围，它的定理证明的机械化也是不可能的。另一方面，1950 年波兰数学家塔斯基（Tarski）则证明了初等几何（以及初等代数）这一范围的定理证明是可以机械化的。但塔斯基的结果近于例外，因为在初等几何和初等代数以外的大量结果都是反面的，即机械化是不可能的。

1956 年以来，美国开始利用电子计算机做证明定理的尝试。1959 年，王浩先生设计了一个机械化方法，用计算机证明了罗素等著的《数学原理》这一经典著作中的几百条定理，仅用了 9 分钟，这在数学与数理逻辑学界引起了轰动。一时间，机器证明的前景似乎非常乐观。例如 1958 年时就曾经有人预测：在 10 年之内计算机将发现并证明一个重要的数学新定理。还有人认为，如果这样，则不仅许多著名哲学家与数学家如皮阿诺、怀特海、罗素、希尔伯特以及图灵等人的梦想将得以实现，而且计算机将成为科学的皇后、人类的主人。

然而，事情的发展并不如预期的那样美好。尽管在 1976 年时，美国的哈肯等人在高速计算机上用了 1200 小时的计算时间解决了数学家们 100 多年来未能解决的一个著名难题——四色问题，并因此而轰动一时，但是，这只说明计算机作为定理证明的辅助工具有着巨大潜力，还不能认为这是一种真正的机器证明。用王浩先生的说法，哈肯等关于四色问题的证明是一种使用计算机的特例机证，它只适用关于四色这一特殊的定理，这与机器定理证明能适用于一类定理是有区别的，后者才真正体现了机器证明的实质。另一方面，在真正的机械化证明方面，虽然塔斯基在理论上早已证明了初等几何的定理是能机械化的，还提出了造判定机（即证明机）的设想，但实际上他们的机械化方法非常繁琐，繁琐到不可收拾的地步，因而远远不是切实可行的。1976 年，美国科学家做了许多在计算机上证明定理的实验，在塔斯基的初等几何范围内，用计算机所能证明的只是一些近于同义反复的“儿戏式”的“定理”。因此，有些专家曾发出过这样悲观的论调：如果只依靠机器，再过 100 年也未必能证明出多少有意义的新定理来。

三、一条切实可行的道路

1976 年冬，正值“四人帮”垮台之际，我们开始了定理证明机械化的研究。1977 年春取得了初步成果，证明了初等几何中主要一类定理的证明可以机械化。从理论上说，我们的结果已包括在塔斯基的定理之中。但与塔斯基的结果不同，我们的机械化方法是切实可行的。即使用手算，也可以证明一些艰深的定理。

我们的方法主要分两步，第一步是引进坐标，然后把需证定理中的假设与终结部分都用坐标间的代数关系来表示。当时我们所考虑的定理局限于那些代数关系都是多项式等式的范围，例如平行、垂直、相交、距离等。这一步可以叫做几何的



代数化。第二步是通过代表假设的多项式关系把终结多项式中的坐标逐个消去，如果消去的结果为零，就表明定理正确，否则再作进一步检查。这一步完全是代数的，即用多项式的消元法来验证。

上述两步都可以机械与刻板地进行。根据我们的机械化方法编成程序，在计算机上实现机器证明，并无实质上的困难。事实上，数学所的一些科研人员以及在海外的王浩先生都曾在计算机上试行过。我们自己也曾在国产的长城 203 台式机上证明了像西姆森定理那样不算简单的定理（从圆周上任一点向圆内接三角形的三条边作垂线，三垂足必在一条直线上，这条直线叫西姆森线，这条定理叫西姆森定理）。1978 年初，我们又证明了初等微分几何中主要的一类定理证明也可以机械化，而且这种机械化方法也是切实可行的，并据此用手算证明了不算简单的一些定理。

从我们的工作中可以看出，定理的机械化证明往往极度繁复，与通常既简且妙的证明形成对照，这种以量的复杂来换取质的困难，正好发挥了计算机的长处。当时我们使用的长城 203 台式机，存储量最多只能到 234 个 10 进位的 12 位数，就已然证明西姆森线那样的定理。在电子计算机如此发展的今天，我们的机械化的证明方法在计算机上实现不仅不难，而且有一台微型的台式机也就足够了。

随着超大规模集成电路与其他技术的出现与改进，今天微型机的功能愈来愈强，并为广大科研人员普遍使用，它不仅可以用来证明一些不很简单的定理，而且能够发现并证明一些艰深的定理，而这些定理的发现与证明，在数学研究手工业式的时代是不可想像的。20 多年来，我们的数学机械化也从最初的初等几何发展到了微分几何、代数几何、自动作图、自动推理等领域，建立了许多新方法，应用于控制论、曲面拼接问题、机器人结构设计、化学平衡问题、平面天体运行的中心构形、智能计算机辅助设计、信息传输中的图像压缩等，展示了



广阔的应用前景。

四、历史的启示与未来的技术革命

作为结束语，我想提出几点看法。

首先，机械化方法并非始自近些年。我们发现，早在1899年出版的希尔伯特的经典名著《几何基础》中，就有着一一条真正的正面的机械化定理：初等几何中只涉及从属于平行关系的定理证明可以机械化。当然，原来的叙述并不是以机械化的语言来表达的，也许就连希尔伯特本人也并没有对这一定理的机械化意义有明确的认识。希尔伯特这一名著是以公理化的典范而著称于世的，但我认为，该书更重要之处，在于提供了一条从公理化出发，通过代数化以达到机械化的道路。自然，处于希尔伯特以及数学研究一张纸一支笔的手工作业时代，公理化的思想与方法得到足够的重视与充分的发展，而机械化的方向与意义受到数学家的忽视，是完全可以理解的。但在电子计算机已日益普及、繁琐而重复的大量计算已不足道的现代，机械化的思想应比公理化思想受到更多的重视。

其次，应该着重指出，我们在从事机械化定理证明工作获得成果之前，对塔斯基的已有工作并无接触，更没有想到希尔伯特的《几何基础》会与机械化有任何关系。我们是在中国古代数学的启发之下提出问题并想出解决办法来的。

说起来道理也很简单：中国的古代数学基本上是一种机械化的数学。四则运算与开方的机械化算法由来已久。汉初完成的《九章算术》中，对开方、立方的机械化过程就有详细说明，到宋代更发展出高次代数方程求数值解的机械化算法。在《九章算术》中还有着各种线性方程组的问题与解法以及正负数的概念。在魏晋时刘徽的《九章算术》注中，说明了几种机械的消去法及其详细的机械化算法过程。把刘徽注的说明列成图表，即与前面所提到的中学课本中所列高斯消去法的那些图