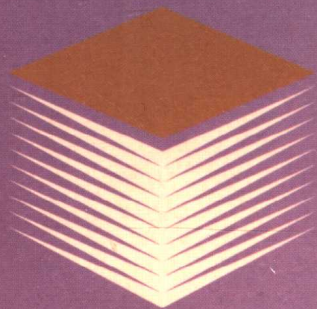




科学的魅力

余翔林 主编



科学出版社

中国文库

科学技术类

科学的魅力

余翔林 主编

科学出版社

图书在版编目(CIP)数据

科学的魅力 / 余翔林主编. — 北京: 科学出版社,
2004.1

(中国文库)

ISBN 7-03-012806-0

I. 科… II. 余… III. ①自然科学 — 文集 ②社会
科学 — 文集 IV. Z427

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 006801 号

责任编辑: 卢秀娟 陈 亮

整体设计: 李 梅 胡建斌

责任印制: 安春生

科学的魅力

Kexue De Meili

余翔林 主编

科学出版社 出版

<http://www.sciencep.com>

北京东黄城根北街 16 号 邮编: 100717

北京瑞冠中印刷厂印刷 新华书店总店北京发行所经销

2004 年 3 月第 1 版 2004 年 3 月第 1 次印刷

开本: 880 毫米×1230 毫米 1/32 印张: 9

字数: 225 千字 印数: 0,001-3,000

ISBN 7-03-012806-0

定价: 20.00 元

“中国文库”出版前言

“中国文库”主要收选20世纪以来我国出版的哲学社会科学研究、文学艺术创作、科学文化普及等方面的优秀著作和译著。这些著作和译著，对我国百余年来政治、经济、文化和社会的发展产生过重大积极的影响，至今仍具有重要价值，是中国读者必读、必备的经典性、工具性名著。

大凡名著，均是每一时代震撼智慧的学论、启迪民智的典籍、打动心灵的作品，是时代和民族文化的瑰宝，均应功在当时、利在千秋、传之久远。“中国文库”收集百余年来名著分类出版，便是以新世纪的历史视野和现实视角，对20世纪出版业绩的宏观回顾，对未来出版事业的积极开拓，为中国先进文化的建设，为实现中华民族的伟大复兴做出贡献。

大凡名著，总是生命不老，且历久弥新、常温常新的好书。中国人有“万卷藏书宜子弟”的优良传统，更有当前建设学习型社会的时代要求，中华大地读书热潮空前高涨。“中国文库”选辑名著奉献广大读者，便是以新世纪出版人的社会责任感和历史使命感，帮助更多读者坐拥百城，与睿智的专家学者对话，以此获得丰富学养，实现人的全面发展。

为此，我们坚持以“三个代表”重要思想为统领，坚持贯彻“百花齐放、百家争鸣”的方针，坚持按照“贴近实际、贴近生活、贴近群众”的要求，以登高望远、海纳百川的广阔视野，披沙拣金、露抄雪纂的刻苦精神，精益求精、探赜索隐的严谨态度，投入到这项规模宏大的出版工程中来。

“中国文库”所收书籍分列于8个类别，即：(1)哲学社会科学类(哲学社会科学各门类学术著作)；(2)史学类(通史及专史)；(3)文学类(文学作品及文学理论著作)；(4)艺术类(艺术作品及艺术理论著作)；(5)科学技术类(科技史、科技人物传记、科普读物等)；(6)综合·普及类(教育、大众文化、少儿读物和工具书等)；(7)汉译学术名著类(著名的外国学术著作汉译本)；(8)汉译文学名著类(著名的外国文学作品汉译本)。计划出版1000种，自2004年起出版，每年出版1至2辑，每辑约100种。

“中国文库”所收书籍，有少量品种因技术原因需要重新排版，版式有所调整，大多数品种则保留了原有版式。一套文库，千种书籍，庄谐雅俗有异，版式整齐划一未必合适。况且，版式设计也是书籍形态的审美对象之一，读者在摄取知识、欣赏作品的同时，还能看到各个出版机构不同时期版式设计的风格特色，也是留给读者们的一点乐趣。

“中国文库”由中国出版集团发起并组织实施。收选书目以中国出版集团所属出版机构出版的书籍为主要基础，逐步邀约其他出版机构参与，共襄盛举。书目由“中国文库”编辑委员会审定，中国出版集团与各有关出版机构按照集约化的原则集中出版经营。编辑委员会特别邀请了我国出版界德高望重的老专家、领导同志担任顾问，以确保我们的事业继往开来，高质量地进行下去。

“中国文库”，顾名思义，所收书籍应当是能够代表中国出版业水平的精品。我们希望将所有可以代表中国出版业水平的精品尽收其中，但这需要全国出版业同行们的鼎力支持和编辑委员会自身的努力。这是中国出版人的一项共同事业。我们相信，只要我们志存高远且持之以恒，这项事业就一定能持续地进行下去，并将不断地发展壮大。

“中国文库”编辑委员会

“中国文库”第一辑

编辑委员会

顾 问

(按姓名笔画为序)

于友先 石宗源 刘 杲 许力以 杜导正

李从军 宋木文 陈 原 徐惟诚

主 任：杨牧之

副主任：聂震宁

委 员

(按姓名笔画为序)

田胜立 乔友农 刘玉山 刘国辉 杨德炎

李 岩 李 峰 吴江江 吴希曾 汪季贤

汪继祥 宋焕起 胡守文 郜宗远 黄书元

敬 谱 焦国瑛

“中国文库”第一辑编辑委员会办公室

主 任：聂震宁

副主任：刘国辉 宋焕起

成 员：

陈有和 管士光 于殿利 李 岩 刘晓东

程大利 潘振平 孙延凤 李师东 李济平

陈鹏鸣 马国华 胡建斌 潘 平 杨 静

孙 牧 乔先彪 贾立钢

目录

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 and 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已经有了这个想法。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 年时就已经有人预测：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，存贮量最多只能到 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

表无异。宋代秦九韶著的《数书九章》中，更有着颇为繁复的算题与详细图表。

在宋元时代，我国就创立了“天元术”，引进了天元、地元、人元、物元等相当于现代未知数的概念，把许多问题特别是几何问题转化成代数方程与方程组的求解问题。这一方法用于几何可称为几何的代数化。12世纪的刘益将新法与“古法”比较，称“省功数倍”。与之相伴相生，又引进了相当于现代多项式的概念，建立了多项式的运算法则和消元法的有关代数工具，使几何代数化的方法得到了系统的发展（见宋元时代幸以保存至今的杨辉、李治、朱世杰的许多著作）。几何的代数化是解析几何的前身，这些创造使我国古代数学达到了又一个高峰。可以说，当时我国古代数学已到达了解析几何与微积分的大门，具备了创立这些数学关键领域的条件，但是由于各种原因使我们数学的雄伟步伐就在这些大门之前停顿下来。几百年的停顿，使我们这个古代的数学大国在近代变成了数学上的纯粹入超国家。然而，我国古代机械化与代数化的光辉思想和伟大成就是不可磨灭的。作者本人关于数学机械化的研究工作，就是这些思想与成就的启发之下的产物，是我国自《九章算术》至宋元时期数学的直接继承。

恩格斯曾经指出，枪炮的出现消除了体力上的差别，使中世纪的骑士阶级从此销声匿迹，为欧洲从封建时代过渡到资本主义时代准备了条件。近年有些计算机科学家指出，个人用计算机的出现，其冲击作用可与枪炮的出现相比。枪炮使人们在体力上难分强弱，而个人用计算机将使人们在智力上难分聪明愚鲁。又有人对数学的未来提出看法，认为计算机的出现，将使数学现在一张纸一支笔的方法得以改变，因为在历史的长河中，这无异于石器时代的手工业方法。今天的数学家们不得不面对计算机的挑战。但是，也不必妄自菲薄，大量繁复的事情交给计算机去做了，人脑将仍然从事富有创造性的劳动。