

Maple的 图形动画技术

张晓丹 堵秀凤 李祥林 编著
张水胜 张永春



- 用 Maple 6.0 ~ 9.0 制作数学课件动画必备
- 工业曲面造型程序设计借鉴
- 科技演示文档制作技术参考
- 数学实验课程教学参考书



北京航空航天大学出版社



Maple 的图形动画技术

张晓丹 堵秀凤 李祥林 编著
张水胜 张永春

北京航空航天大学出版社

内容简介

Maple 是数学主流软件之一,在 5.0 版之后,包容了比较完善的数据可视化功能,可以生成高精度数学图形和动画。本书不是基础读物,而是讨论其可视化功能的专著。它详尽论述如何充分挖掘和利用其数据可视化技术,制作数学教育和科技报告演示文档所特别需要的“数学图形动画”。许多内容是作者的多年心得积累,凝结了不少含有二次开发性质的创造性劳动。书中有数学课件素材实例和科技报告文稿所需要的数学动画实例。

本书适于制作数学动画者及相关领域科技人员使用,也可作为教材/数学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

Maple 的图形动画技术/张晓丹等编著. —北京:北京航空航天大学出版社,2005.11

ISBN 7-81077-620-7

I. M… II. 张… III. 数值计算—应用软件, Maple
IV. 0245

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 106933 号

Maple 的图形动画技术

张晓丹 堵秀凤 李祥林
张水胜 张永春 编著
责任编辑 许传安
责任校对 戚爽

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail:bhpress@263.net

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:26.5 字数:678 千字

2005 年 11 月第 1 版 2005 年 11 月第 1 次印刷 印数:3 000 册

ISBN 7-81077-620-7 定价:52.00 元

附程序盘一张



前言

这是一部专门讲述如何使用专业数学软件 Maple 绘制各种数学图形和制作高精度科技动画的书籍。

“数学动画”绝不是只能用于数学的动画。它是科技动画,是表现动态时空的特种科技语言。一切用得上缜密数量分析的科技领域都可用这种语言阐释自己的对象、方法和意义。它的设计思路和制作方法是数学的,它是由专业数学软件建造的。因而它具有无与伦比的高精准量值特性,可以广泛应用于科技传播领域,包括数学教育。

本书适于中高两级学校数学教师用来制作数学动画课件,也适于各专业的科技工作者制作科技文件中的精准科技动画,更是“信息技术与数学课程整合”的实践导引。书中所述方法,在 Maple9.0 到 Maple6 各个版本上,几乎完全一致适用。本书可以作为高等院校的“数学实验”课的选用教材、重要参考书或理工科教师及其他科技工作者的自修读本。

从数学软件的角度来说,本书是对 Maple“数据可视化处理”功能的深入挖掘和充分运用,具有二次开发的性质。从数学教育的角度来说,是作者从事数学课程改革实践与研究的 10 年积累产物。因此,作为本书的导言,有必要从两个方面做些基本的说明,以便读者使用。

第一部分献给准备使用本书的每位读者。第二部分专门献给关注“数学实验”课程改革和在其中使用本书的读者。

一、关于使用专业数学软件制作科技演示文稿的问题

近年来,在数学教学中使用演示课件已是比较普遍的事了。在各种科技报告文稿里使用高精度动态数学图形来阐述创新机理的机会,也正在日益增多。但是能够向听众揭示难以把握的数量观念、数学方法和数学思想的演示文稿或课件并不易得。其中最缺少的就是作为灵魂的“核心素材”——真正意义的数学图形和数学动画。

在科技演示文稿和课件里,恰当地运用展示数量关系和空间形式的数学图形(尤其是动态的数学图形)至关重要,具有举足轻重的地位,是演示文稿和数学课件中“画龙点睛”的“龙眼睛”。它所需要的数学图形和数学动画,多数不能由普通的图形软件所生成。因为,除了极少数的几种几何图形之外,普通图形软件提供的产品几乎都是“示意性的图形”;它们很难具有数学图形所特有的基本特征:高度量性和高精确度。对于生成用来描述复杂数量关系的各种变量图形,它们这些软件几乎更是无能为力的。

科技报告和数学课件中的真正“灵魂”,只能由数学软件来生成。我们特意把这种由数学软件生成的,能够表现“数量关系和空间形式”的计算机图形,以及由此进化而来的动态图形,严格地称为“数学图形”及“数学动画”。它们具有十足的数学韵味和品格。

“数学图形”及“数学动画”不仅能充当数学课件的核心素材,而且经过精心设计的,能表现



特定主题的数学动画,本身就具有完整数学课件的功能。所谓特定的主题,就是展示一个数学事实或现象,揭示一个数学概念,说明一个数学方法,或进而阐释一种数学思想。数学教学中,通过这种主题数学动画的演示,再配合必要的、适当的讲述,就能收到一般的单纯语言解释和静态图形得不到的效果。从这种意义上说,主题数学动画本身,就可以看作是一种独特的数学动画课件。

如果扩展开来讲,这里所谈论的高精准数学动画,应用天地极为广阔,远不止于数学教育。可以说,凡是需要对运动现象做出高精准度的定量可视化动态描述的科技文稿之处,必是数学动画的用武之地。从这种角度来看,本书内容会引起更大潜在读者群的长久关注,将是意料之中的事情。

利用专业数学软件的现有图形动画技术,并深入挖掘它的潜在功能制作数学主题动画,这条思路适用于每一个当代流行的主流数学专业软件。比如,我们曾经编写的《数学实验——MathCAD在数学实验中的应用》一书,就是这种思路在专业数学软件 MathCAD 上的实现。本书则是这种思路在专业软件 Maple 上的实现。因此,也可以说本书是前者的姊妹篇。

既然有了 MathCAD 的数学动画,为什么还要 Maple 数学动画呢?这是因为它们两者各有长短。MathCAD 的特点是,程序语言非常接近数学语言,便于直接实现“数学编程”,交互式操作手段完善,英文水准要求不高,易于被初学者掌握。但它的数学动画技术还有不够完善之处。比如,图中的移动文字标注、隐函数图形、不等式(组)解集合图形、多边形或曲线形区域的颜色填充、函数图形间断点的表现等等,都难以直接实现,需要借助比较复杂的替代方法。而这些技术在 Maple 环境下,却是容易实现的平常操作。此外,Maple 还有大量可利用的“半成品”(指图形数据 O/S)和大量的“专用工具”(指各种专用绘图函数),这就使得它的数学动画能力更强些。如果能使两个软件制作数学动画的能力取长补短,对不同的主题选用不同的软件来制作,当然就成了一个数学动画高手的有利条件。

Maple(Waterloo Maple Software Inc.)是当今世界四大主流数学软件之一。该软件的初稿,是由加拿大 Waterloo 大学的两位教授 Keith Geddes 和 Gaston Gonnot 于 1980 年 11 月开始设计,大约 3 周完成的。符号演算功能,是该软件的特长。1981 年发布 4.0 版,1982—1983 年间,已在美国和欧洲一些大学中流行起来。至 1989 年推出 4.3 版时,已经是可以在 20 种平台上运行的软件了。1990 年推出的有重大改进的 Maple V,包括了 GUI 和 3D 图形。1999 年 2 月上市的 V R6 版本(即 Maple6),已经比较完善,博得“世界首份综合分析计算系统”的美誉。此后连年改善,先后推出 Maple7, Maple8,直至 2003 年发行的 Maple9.0 版本中,各项功能日臻完善。Maple 在符号分析类的数学软件当中,曾是独领风骚的老资格。有些很有特色的数学软件,其符号演算功能都是来自 Maple,例如 MATLAB 和 MathCAD。顺便指出,它具有对硬件要求比较低的特点,能节省设备投入。应该特别指出的是,自从 Maple 5 开始,它就具备了比较强的“数据可视化功能”。

当然,对于这样的功能全面而有自己特长的综合性专业数学软件来说,图形动画功能并不是它的“专项主营业务”,只是它的众多功能当中的一种。就制作数学动画一项功能而言,自然也不可能淋漓尽致,尽善尽美。因此也就留下了一个再创造的空间。我们的工作,就是在这个空间里集中在数学主题动画这一点上,运用 Maple 其它方面的优势,做一些小有创造的二次



开发。本书所讲的内容基本是作者们数年中积累起来的这种经验和体会。

关于书稿撰写的内容和形式有6点需要说明。

1. 不讲软件 Maple 的入门知识,直接进入数学图形和数学动画的专门讨论是本书的一大特点。因为我们觉得,市面上介绍 Maple 一般用法的书籍已有若干,再花篇幅去说明会显得重复。与其如此,不如专注于较窄的主题更为集中有效,针对性也会更强些。夸张点说,也许会使书稿增多一分“专著”的气味。因此,凡是在基础使用教程中说得比较明白的一般内容,本书通常从简,而集中笔墨详细说明与图形动画直接相关的内容。这也是本书稿内容取舍上遵循的一条原则。

2. 在叙述形式上,本书常常把重要的,需要强调的,作者有所思、所悟、所得的内容,概括成为“命题”来表述。这种形式也是一般的计算机软件书籍所不常见的。所以用这种形式,一是要借此实现突出强调的作用,二是为了尊重数学专业的习惯。“命题”就是一个判断,内容可以多种多样,又无须提供论证。概念、结论、法则、重要操作步骤等等,尽可收入其中。本书所列的命题中,有一些是作者对 Maple 相应内容的理解和体会,更有相当数量是作者的“二次开发成果”。把它们记载下来,奉献给读者,可使阅读节省一些时间和精力。请使用中注意到这一点。

通常,在每个命题的前后都选配若干实例。一些较小的实例,常因其与命题邻近而不做编号,但每个实例都是对命题某点内涵的阐释。实例中的每个语句、每个选项,以及返回的每个图形数据 O/S,都是作者用以说明命题内涵的具体材料。作者的一些细微体会也就反映在这些实例当中。若想深入把握命题,不应忽视这些实例。此外书中还加入一些“笔者注记”一类的文字。在命题和注记当中,记载了笔者数年的部分使用经验和体会,可以使读者少走些弯路。其中许多内容是现有书籍和在线文件中难以查到的。

3. 关于 Maple 的程序编写,几乎所有的基础教程都有比较详尽的说明,本书也就不再重复叙述,而采取了“拿来主义”。但有一点要稍加说明,Maple 的编程也可分为两种:一种是编写 proc,可以称作“用户自定义函数或过程”;另一种是在工作页的执行组中顺次书写的命令语句组,可以称作“页面程序”。两者具有等效性和互相转换的可能。对于绘制数学图形和制作数学动画来说,如果不是追求程序的通用性或考虑多次重复使用的需要,页面程序就完全能达到目的。而且它的“白箱操作”方式又有利于随编、随试、随改。因此本书采取了“以页面程序为主,以自定义函数为辅”的叙述方式。只在必要的地方才对 proc 有所涉及。有意深入掌握 proc 编写技能的读者,可以参考其它基础教程自行补足。

4. 本书分为前6章和后6章。前6章叙述2D数学图形和数学动画。1~3章叙述 Maple 的图形功能,4~5章叙述主题数学动画的制作技术。第1、2章,讲述制作主题数学动画用得上的各种绘图函数的使用方法和各自的使用条件,初读不必细究,以后可以随用随查。第3章讲述使用图形数据对象和数据结构绘图,一定要细读,它对理解后面讲的动画 O/S 编程制作方法至关重要。第4、5两章,除了 Maple 固有的动画函数之外,大部分是作者在动画制作实践中总结的“子动画”编程方法(多数是页面编程,少数是自定义函数),并从不同的角度进行了分类讲解。篇幅较大的第6章,主要是对作者编制的一批典型主题动画做剖析。这批典型实例中,大约各有半数适用于初等数学和高等数学。剖析典型实例的目的在于分析设计方法,所



以它们多数仍是“准成品”，也是有意留给读者一个空间，以便添加一些并不困难的补充，变成自己的实用作品。

后 6 章叙述 3D 数学图形和数学动画。各章内容与前 6 章大体对应，因而关于 2D, 3D 通用部分可以省去许多说明文字，各章篇幅采取“有话长无话短”的处理原则，不求均等。其中，只对前 6 章没有说到、说透的地方加以说明。也有些地方对 2D 讨论过的问题，在 3D 中改换了讨论角度做了新的说明。这些内容有助于读者深化认识。后 6 章中剖析的典型实例，适用于中学数学教学，不如高等数学的多，但是使用的新方法对于初等数学同样适用。这对于一个 Maple 高手来说，也是很有价值的。

前 6 章基本按照教材的风格编写，具有比较严格的逻辑顺序，适于用做本科学生的教材，下篇则不然。在 3D 部分，只要前 6 章中讲过 2D 的相应内容，就拿来使用，文字说明从简，主要用命题和程序实例来说话（许多图形也有省略）。因此，后 6 章不能脱离前 6 章作为独立的教程使用，适于在前 6 章基础上进行自修或做研究课题使用。所以这样安排，主要是为了用节省下来的篇幅多讲些新的实用内容。

5. 本书所总结的 Maple 图形动画技术，是作者们从 Maple 5.1 跟踪到 9.0 版本的过程中形成的，至今已在国内易得到的最新版本 Maple 9.0 上运行过。由于不同版本 Maple 对计算机配置要求的差别，目前许多学校的实验室仍适于使用较早的版本。为顺应和兼顾新老版本的使用者，本书编写中，把适于所有版本的方法作为主述内容，把仅适用于新版本的方法专设段落说明。请注意避免在低版软件上使用高版本程序。

6. 按照软件快速升级的特点，不久还会有更高的版本流行起来。这里所说的内容会不会也在不久就变得落后而失去价值了呢？我们跟踪 5 个版本的经验说明，这一点是不必担心的。应用软件的版本升级有个规律：每一次的升级都是使得原有功能更加丰富和完善，基本的技术原理几乎没有本质上的重大变更。即或整个程序全部使用一种新的语言重新编写的时候，对原有那些具有特色的基本功能也是采取保留、丰富、发展、完善的策略。数学软件更是如此。比如，Maple 在数学图形绘制和数学动画制作方面，未来新版本可能添加更多一些专用函数，甚至可能增加一个动画制作函数包，但是使用图形数据 O/S 绘图和制作动画的原理是不会从根本上抛弃的。而本书稿所特别看重的恰恰就是它的基本原理。也就是说，掌握了现在这些技术，只能有利于“与时俱进”，而不会“前功尽弃”。

二、关于本书在“数学实验”课中的使用问题

本书并不仅仅是单纯针对数学软件某一种功能的发掘和发挥，而是在历时 10 年的数学教育课程改革的过程中逐步形成和深化认识的结果。本书的作者是一群热心于计算机上做数学教育实验的计算机教师和数学教师，都曾先后参与过这个课程改革的实践和研究。

齐齐哈尔大学理学院数学系就是原来的齐齐哈尔师范学院数学系。20 世纪 80 年代中期，曾以数学教育研究的优势成为黑龙江省高校重点专业。在数学课程理论研究方面曾有较好的基础：国内的第一部《数学课程论》就诞生在这里；曾参与并主持《全国高师数学教育专业（本科）教育教学改革基本要求》的研究制定（原国家教委师范司项目，有 40 余所院校参加）；也



是《数学教育学报》(数学教育最高学术刊物)积极创始单位之一。我们进行计算机上的数学教育试验就是数学教育理论与数学课程改革相结合的探索活动。实验从1998年正式开始。研究阶段可以追溯到1994年的上海国际数学教育会议。至今,已经有过多次校内的立项研究。近8年当中,已经面对四种学员(本科生、硕士生、高校的数学教师、在职中学教师培训)有过9轮教学实践,并且按照自己的认识,分头编写了部分教材(本书就是其中之一)。我们在理论与实践的结合中积累了一些新的认识。还曾写成一组短文。

一般高校里可以普遍开设的数学实验课,十几年前就已经在国外、国内先后出现,并对数学教育改革产生了积极的影响。我们最初的“计算机上的数学教育试验”也是从齐齐哈尔大学开始的。不久我们就意识到,对于那些从事或准备从事数学教育工作的人来说,只有这一类的数学实验,还嫌不足,还必须有另外一种数学实验课,它的课程宗旨、课程内容和课程模式都应具有更强的针对性。这是一种培养学员将数学知识“从学术形态向教育形态转化”能力的数学实验课。于是,我们就在这条未见有人走过的小路上开始了自己的课程建设实验和课程研究。这个方向,也许不具有太大的数学学术价值,但实践说明,它对于数学教育改革实践却有相当的意义。我们所写的教材和短文,都曾在同行中有过小范围的民间交流,得到不少的鼓励。

以前,我们曾经把迄今为止的数学课程结构归纳成五种组织结构模式(问题汇集模式、逻辑演绎模式、分科设置模式、混合数学模式和统一数学模式)¹。现在看来,所有这些模式都有一个共性:是在向学习者展示一种“完成了的数学”,而且其中的多数情形还都侧重于展示一种演绎体系;是让学习者信服数学结论的真理性,进而运用它们说明一些问题。在这种模式之下,这些科学结论的发现过程、科学方法的创造过程,常常是被屏蔽了的。正如爱因斯坦所说的那样:当把一个理论以完全的形式显现出来的时候,往往使我们“体验不到探索和发现的喜悦,感觉不到思想形成的生动过程,也很难达到清楚地理解全部情况……”,往往使我们难以理解,是什么原因使得发明者“恰好选择这一条道路,而不选择任何别的道路”²。

世界著名的美籍华裔数学教育家 G. 玻利亚曾经深刻地揭示过:“数学有两个侧面,一方面它是欧几里得式的严谨科学,从这方面看,数学像是一门系统的演绎科学;但另一方面,创造过程中的数学,看起来却像实验性的归纳科学”³。由此,我们进一步地看到:这两种面貌恰恰是数学科学生命史中的两段过程:前一种面貌,是数学科学的成熟期面貌;而后一种面貌,是数学科学的生长期面貌。理想的全面而有效的数学教育,当然就应该使学习数学的人完整地感受和认识数学科学这两种面貌:人们不仅要能欣赏和享用这些前人创造的美好果实,还要从它生长过程中那些震撼心灵的创造活动里汲取智慧营养,培养创造精神和创造能力。

许多年前,一些有见识的数学教育家就提出,让学生动手“做数学”,要在数学教学中引入“数学活动”⁴,应当给学生以“数学的发现”的教育,要让学生,除了演绎推理之外还会使用归纳推理、“合情推理”等非演绎手法,体验完整的数学创造过程——从观察、抽样、归纳、概括、猜想,到分析与论证的全过程。可以说,这种科学的数学教育思想,一直是数代数学教育家的理想之梦。他们为此付出大量心血,寻找了各种好的教学方法,希望由此去实现自己的数学教育理想。但是由于没有一种好的课程结构模式作为支撑,效果总是不免受到局限。

当今的历史条件已经发生了根本变化。决定数学课程结构的三维“变元”都已发生了巨变,为我们创建新的数学教育课程模式提供了极好的时机和条件。这些条件是:① 素质教育、



创造教育,被历史地推上了教育宗旨的顶峰,在国内,历代数学教育家的理想已成为富国强民、民族复兴的急切任务;② IT 手段的普及,提供了创造新型数学课程模式的物质基础;③ 数学软件的完善,创建了数学活动的新环境。有了这些条件以后,摆在我们面前的任务应该是:实现三者的结合,创造并完善一种新的“数学课程模式”。“数学实验”就是这样一种新生的数学课程模式。

“数学实验”应该是给学习数学的人提供:一个深入把握数学概念、命题、思想、方法的实验室;一个表达和检验自己数学创造思维和探索精神的试验场;一个部分重现发明经历的“回放舞台”;一个获得“参与数学创造过程”体验的科学园地。可以毫不夸张地说,只有基于计算机专业数学软件的“数学实验”,才能给数学教学带来一个真正意义的“数学动感地带”。

数学软件介入数学教学,既是数学教育的历史必然,又是对数学教育的历史驱动。它将使得数学教育的内容、方法以及课程模式都要发生重大变化。这种新生的数学教育课程模式,它的原则和思想将适用于各层、各类的数学教育事业,将改变延续了数千年的数学教育传统行为,为数学教育开辟一个新的天地。说它在数学教育史上具有划时代的意义,没有一点夸张!

20 世纪八九十年代,国外出现了与信息技术相结合为特征的高等数学教育改革实验;出现了“连续与离散相结合”的数学课程改革试验;出现了“重视数学建模培养实际问题能力”的潮流,并在这种背景下,出现了建立“数学实验”课程的多种尝试。这种动态早已被国人所注意,并有人相继试作同类改革尝试⁵。这种改革研究,无疑将会给大家提供许多可资借鉴的有益启示。但所出现的“数学实验”课程研究中并没有考虑培养数学教育人才这种特殊教育使命而必须解决的特殊问题。因此,在一般的数学实验课程建设之外,还有一个独立的教育数学实验课的建设问题。

一位有见地的当代数学教育家说过:“知识系统有两种形态:学术形态和教育形态。综合大学的教育,只要使学生掌握知识的学术形态就可以了。但是师范大学的教学则在了解知识的学术形态之后,还必须帮助学生掌握知识的教育形态。这种转换是一种特殊的能力,需要加以培养⁶。”对于“数学实验”这种新生的数学教育课程来说,上述见解就更加显得有特殊意义:“数学实验”也将因为所在的学校性质而被分成两种类型:学术形态的数学实验和教育形态的数学实验。不同质的矛盾,必须用不同质的方法去解决。绝对不可以认为,把综合大学的“数学实验”搬到高师院校里来开设就算“革命成功”。而是要求我们高师的数学教育家们,从自己的特殊使命出发,从理论与实践的结合当中,寻求适于我们目标的课程建设道路。为了区别于普通的数学实验课,我们姑且把这种适用于培养数学教育人才的数学实验课,称作“教育数学实验”。

教育数学实验课特殊问题的核心在于,让未来的数学教师,在数学实验课中经受数学活动教育的同时,得到如何指导别人在两种面貌(演绎科学和归纳科学)下学习数学的职业技能;或者说,让高师的学生,在接受学术形态的数学实验训练的同时,也要接受足够充分的教育形态的数学实验训练,为创造和普及数学教育史上的薪新课程模式,提供师资力量的支持。如果说“普通数学实验”课的出现,是一种划时代的新生的数学课程模式的诞生,那么,“教育数学实验”课的建设,就是在给这新生儿培训保育员。这就是“教育数学实验”课所特有的课程论地位。



“教育数学实验”所特有的任务应该是:让学生在“数学实验”中,学会创设“数学活动”的环境;学会把自己未来的学员引导到“数学活动”中来;学会展示“数学活动”的基本内在规律,进而要求学生初步获得“把学术形态的数学转换为教育形态的数学的基本能力”。如果换一个角度来看,可以说“教育数学实验”课程具有以下三点特殊性:① 不仅要会在 IT 环境下“学数学”,还要学会怎样在这环境下“教数学”——这是“教育数学实验”课程目标上的特殊性;② 不仅要要在数学实验课中学习创作“数学产品”,还要在本课程中,学习制作“数学教育产品”——“教育数学实验”课程内容上的特殊性;③ 此课的设置,不仅应对未来中等数学师资的培养起到重要作用,还应对高校现有数学教育内容、教育方式的改革发挥重要作用——“教育数学实验”课程功能上的特殊性。

如果想要把教育数学实验应有的独特内容,具体地集中到一点来单独表述的话,我们以为,应该在普通数学实验课的内容之外,再增加一个特有的项目:让学生在“教育数学实验”课中,学会用数学软件制作“课件的核心片段”,以便将来能用其它编辑工具来编成适于自己使用的课件。

这里要说明的是,如何看待“用数学软件制作‘课件的核心片段’”这种活动的性质。我们要特别强调的是,这种“用数学软件制作数学图形和数学动画的活动”的本质,首先是一种数学活动。因为在“用数学软件制作‘课件的核心片段’”这种活动中,依靠的是数学思维,运用的是数学知识、数学语言,使用的是数学软件……。它的制成品,当然是一个数学制品。在学术形态色彩浓重的“普通数学实验”里,这种数学图形和数学动画的制作活动,本是“原已有之”,不过在学术形态的数学活动里,它们没有占据主要地位;而到了教育形态的数学活动里,数学图形和数学动画上升到了主要地位,因而受到应有的特殊重视。这种地位的变迁,并不能,也不应该改变它的固有属性。因此绝对不能把它与一般的“课件制作美工技术”视为同类;而应该理直气壮地认定:这种“用数学软件制作‘课件的核心片段’”的过程,正是一类最具典型意义的“教育形态的数学活动”。

基于以上的认识,我们在自己的“数学实验”课中开辟了“使用专业数学软件制作数学动画”的专项教学内容。试行数年,反响喜人。有些毕业生应聘时展示自己的课件作品,赢得了聘方的重视。还有一位早期毕业生返校学过此课后,在 2002 年 5 月的全国小学教师培训机构(中师)信息与数学教师课件制作大赛中获得一等奖。这些反响也更加坚定了我们开设“使用专业数学软件制作数学动画课件”的信心。

另一方面,从数学课程的形态演变的角度来说,数学动画的普遍运用和发展,经过必要的历史积累,有可能导致“可视化数学课程”的诞生⁷。也就是说,对数学动画的教育价值应该有更充分的认识,要估计到它对数学教育目标的进化、数学课程模式的创新等项改革可能产生的影响。眼前看,它是一种极有实用价值的数学教育技术;长远看,它很可能促使数学课程形态发生巨大变化。

近几年在基础教育领域中,“课程整合”是个入时的话题。它的完整表述是“信息技术教育与数学教育的课程整合”。许多人做了不少研究,传媒和网上都有许多议论。对于教育实践者来说,此事并没有深奥的论说话题。最重要的是行动、实践。在实践中学会选择一两种合适的数学软件,引入到数学教育过程中来:教师要学会在数学软件环境下教数学,也让学生能在这



种环境下学数学、做数学。一方面,以 IT 技术为工具,实现数学教育目标;另一方面,要使数学思维、数学语言与 IT 技术的算法语言融通、结合,促进数学教育改革的深化、进化。用专业数学软件制作数学动画,就是一块很好的“整合”园地。有了实践,心得体会就接踵而至,说起话来言之有物,也就有了话语权。

因此我们认为,数学教师对计算机的掌握,不能停留在打印教案、考题和投影片的办公软件水平上,应该能比较熟练地使用一两个数学软件。特别应该熟练掌握它们的数据处理可视化技术,因为它对于数学课程和数学教学过程的改革具有无比强大的影响力⁸。

以上这些,是我们进行“数学实验”课程改革实验的认识和体会,也正是我们编写本书奉献给现在和未来青年数学教师的初衷,也包含了帮助科技工作者使用数学软件的愿望。



最后,我们谨以十分诚挚的心情向北京航空航天大学出版社各位同仁表示由衷的感谢!

作 者

2003.6,初稿 2005.2,完稿



目 录

第 1 章 Maple 的 2D 绘图基本功能	1
1.1 快速绘图函数 smartplot() 的运用	1
1.2 2D 图形的 GUI 交互式设置	6
1.2.1 图形工具栏	6
1.2.2 快捷菜单	8
1.2.3 图形窗口菜单	10
1.3 基本绘图函数 plot() 的运用	11
1.3.1 单元函数图像	11
1.3.2 参数方程曲线	13
1.3.3 点列或折线的绘制	14
1.4 2D 绘图命令中的常用设置选项(分类介绍)	18
1.4.1 关于坐标系格式和显示范围的设置选项	18
1.4.2 关于线型、符号和色彩的设置选项	20
1.4.3 关于标题、图例和图中文字的的设置选项	22
1.4.4 两项具有通用性的设置	23
1.4.5 多对象图形同一选项分别设值的格式	23
1.4.6 对每个函数要注意考察各个设置项的可行性	24
1.5 Maple 图形的两种保存方式	24
1.5.1 直接保存在工作页当中	24
1.5.2 保存成另一个文档窗口中的单独文件	24
第 2 章 Maple 的 2D 绘图包函数	26
2.1 包函数的调用方式	26
2.1.1 with(包名)方式	26
2.1.2 包名[函数名]()方式	26
2.1.3 with(包名, 函数名)方式	27
2.2 用常见的 plots 包函数绘图	27
2.2.1 polarplot()	27
2.2.2 coordplot()	28
2.2.3 implicitplot()	32
2.2.4 inequal()	35
2.2.5 polygonplot()	36
2.2.6 texplot()	39
2.2.7 pointplot()	40
2.2.8 listplot()	42
2.2.9 arrow()	43
2.3 用 plots 包函数绘制分布图形	47
2.3.1 contourplot()	47
2.3.2 listcontplot()	50
2.3.3 densityplot()	51
2.3.4 listdensityplot()	52
2.3.5 fieldplot()	53
2.3.6 gradplot()	55
2.4 其它包中的常用绘图函数	57
2.4.1 student[showtangent]()	57
2.4.2 student[middlebox]()	57
2.4.3 student[leftbox]() 和 student[rightbox]()	58
2.4.4 Edtools[DEplot]()	59
2.4.5 algcurvesplot[plot_real_curve]()	62
2.5 绘图常用的几个通用函数	64



2.5.1	stats[xshift]()和 stats[yshift]()	64
2.5.2	stats[xyexchange]()	65
2.5.3	plots[changecoords]()	66
2.5.4	plots[setoptions]()	66
2.5.5	plots[display]()	67
第3章	2D 图形数据对象及其绘图	71
3.1	图形数据对象的概念	71
3.1.1	Maple 的图形绘制机理	71
3.1.2	图形数据对象的概念	72
3.1.3	图形数据结构的概念	72
3.1.4	图形与图形数据对象或结构之间的关系	72
3.1.5	图形数据对象、结构的查看方法	73
3.2	图形数据 O/S 的格式分析与绘图调用	75
3.2.1	对象信息——正则点(样点)坐标值的 list	75
3.2.2	对象名称	76
3.2.3	局部信息	76
3.2.4	关于 PLOT 数据结构	76
3.2.5	数据 O/S 的绘图调用(使用数据结构直接作图)	80
3.3	plottools()中基本图元的数据对象	81
3.3.1	plottools[point]()的数据对象	82
3.3.2	plottools[line]()的数据对象	82
3.3.3	plottools[curves]()的数据对象	82
3.3.4	plottools[arc]()的数据对象	83
3.3.5	plottools[arc]()的数据对象	84
3.3.6	plottools[disk]()的数据对象	84
3.3.7	plottools[rectangle]()的数据对象	85
3.3.8	plottools[polygons]()的数据对象	85
3.3.9	plottools[arrow]()的数据对象	86
3.3.10	plottools[ellipseArc]()的数据对象	86
3.3.11	plottools[hyperbola]()的数据对象	87
3.3.12	plottools[pieslice]()的数据对象	88
3.4	几个重要的几何变换函数	88
3.4.1	plottools[reflect]()	88
3.4.2	plottools[translate]()	90
3.4.3	plottools[rotate]()	90
3.4.4	plottools[scale]()	91
3.4.5	plottools[transform]()	91
3.5	一些图形的数据结构	93
3.5.1	多边形区域的图形数据结构	93
3.5.2	不等式解域的数据结构	94
3.5.3	隐函数曲线的图形数据结构	95
3.5.4	地形图的图形数据结构	95
3.5.5	密度图的图形数据结构	96
3.5.6	fieldplot 图的图形数据结构	97
3.6	图形数据 O/S 在编程绘图中的使用	97
3.6.1	Maple 的绘图编程(绘图 proc)	97
3.6.2	图形数据 O/S 在绘图 ploc 中的运用方式	100
3.6.3	总结:Maple 图形绘制的三种渠道	105
第4章	2D 动画及其数据结构	106
4.1	用 Maple 固有命令制作 2D 动画	106
4.1.1	plots[animatecurve]()动画	106
4.1.2	plots[animate]()动画	110
4.2	Maple 动画的交互式控制界面	116
4.2.1	动画窗口和动画菜单	116



4.2.2 动画窗口中的播放工具栏和设置工具栏	118
4.2.3 动画快捷菜单	119
4.3 用 display 命令作 2D 动画	120
4.3.1 图形数据 O/S 序列显示动画(dis-t 动画)	120
4.3.2 多个 dis-t 动画的联合	121
4.4 动画的数据结构	123
4.4.1 观察动画数据 O/S 的方法	123
4.4.2 动画数据 O/S 的一般特征	124
4.5 用数据结构直接制作 PLOT 动画	125
4.5.1 实例 1:单点走正弦	126
4.5.2 实例 2:一组移动着的文字	127
4.5.3 实例 3:一段径向线段绕原点转动的过程	127
4.5.4 实例 4:一个三角形绕原点旋转	128
4.5.5 实例 5:六边形留下的踪迹	130
4.5.6 实例 6:孤点留下的踪迹	131
4.5.7 实例 7:孤点留下的踪迹	131
4.5.8 实例 8:一个曲线族的伸展	132
4.6 用数据 O/S 变换函数做动画	133
4.6.1 实例 1:变色三角块的旋转过程	133
4.6.2 实例 2:另一种文字移动	134
4.7 用户函数和 proc 动画	135
4.7.1 proc 动画的概念	135
4.7.2 实例分析	135
4.8 新版 animate()动画与数据 O/S 动画的关系	139
4.9 Maple 2D 动画的总结:4 条渠道	140
第 5 章 主题动画的设计技术	142
5.1 主题动画的一般概念	142
5.1.1 主题动画的含义	142
5.1.2 主题动画与演示文档或课件的关系	142
5.1.3 主题动画的设计思路	142
5.2 子动画的实用分类与样例	143
5.2.1 过程动画	143
5.2.2 踪迹动画	153
5.2.3 特技动画	166
5.3 子动画的组合	169
5.3.1 动-动组合的各种情形	170
5.3.2 组合动画的数据结构	174
5.3.3 动-静组合	176
5.3.4 组合动画的彩色设置	177
5.3.5 关于新版 animate 的组合功能	177
5.4 动画的连环画面显示	177
第 6 章 主题动画典例简析	179
6.1 单位圆上的四条三角函数线*	179
6.1.1 连环画面	179
6.1.2 页面程序	180
6.1.3 解释和评说	180
6.2 正弦曲线的生成*	181
6.2.1 连环画面	181
6.2.2 页面程序	181
6.2.3 解释和评说	182
6.3 位相变化着的正弦曲线	182
6.3.1 连环画面	182
6.3.2 页面程序	182
6.3.3 解释和评说	183



6.4 角频变化着的正弦曲线	184
6.4.1 连环画面	184
6.4.2 页面程序	184
6.4.3 解释和评说	185
6.5 不同底的指数函数*	185
6.5.1 连环画面	185
6.5.2 页面程序	185
6.5.3 解释和评说	186
6.6 椭圆上点的特征	188
6.6.1 连环画面	188
6.6.2 页面程序	188
6.6.3 解释和评说	189
6.7 椭圆上点的幅角和离心角*	189
6.7.1 连环画面	189
6.7.2 页面程序	189
6.7.3 解释和评说	190
6.8 抛物线上点的特征*	191
6.8.1 连环画面	191
6.8.2 页面程序	191
6.8.3 解释和评说	192
6.9 双曲线上点的特征	193
6.9.1 连环画面	193
6.9.2 页面程序	194
6.9.3 解释和评说	194
6.10 圆锥曲线统一方程和离心率	195
6.10.1 连环画面	195
6.10.2 页面程序	195
6.10.3 解释和评说	196
6.11 参数方程怎样描绘曲线*	197
6.11.1 连环画面	197
6.11.2 页面程序	197
6.11.3 解释和评说	198
6.12 圆的渐开线*	198
6.12.1 连环画面	198
6.12.2 页面程序	199
6.12.3 解释和评说	199
6.13 摆线的生成	200
6.13.1 连环画面	200
6.13.2 页面程序	200
6.13.3 解释和评说	201
6.14 弹道安全包络*	202
6.14.1 连环画面	202
6.14.2 页面程序	202
6.14.3 解释和评说	203
6.15 相对轨迹与绝对轨迹的同时生成——绝对轨迹渐开线、相对轨迹旋轮线同时生成	204
6.15.1 连环画面	204
6.15.2 页面程序	204
6.15.3 解释和评说	205
6.16 数列的极限	206
6.16.1 连环画面	206
6.16.2 页面程序	206
6.16.3 解释和评说	208
6.17 曲线升降驻凹凸拐与切线态势*	209
6.17.1 连环画面	209



6.17.2 页面程序	209
6.17.3 解释和评说	209
6.18 积分和与定积分	210
6.18.1 连环画面	210
6.18.2 页面程序	211
6.18.3 解释和评说	211
6.19 微积分基本定理	212
6.19.1 连环画面	212
6.19.2 页面程序	212
6.19.3 解释和评说	213
6.20 函数列的一致收敛性	215
6.20.1 连环画面	215
6.20.2 页面程序	215
6.20.3 解释和评说	216
6.21 幂级数展开	217
6.21.1 收敛半径为无穷的幂级数展开	217
6.21.2 收敛半径为有限值的幂级数展开	219
6.22 非正常场的微分方程解曲线	220
6.22.1 单个一阶微分方程的方向场和解曲线	220
6.22.2 一阶微分方程组的方向场和解曲线	221
6.23 线性变换的主方向	222
6.23.1 连环画面	222
6.23.2 页面程序	223
6.23.3 解释和评说	225
6.24 Maple 动画保存为 ".MWS 独立文件	225
6.25 将 Maple 动画导出为 ".GIF 动画	226
6.26 把动画插入到其它文档中去	228
6.26.1 把动画插入到 FrontPage 中(影片播放形式)	228
6.26.2 把动画插入到 PowerPoint 中(幻灯片形式)	229
第 7 章 Maple 的 3D 图形基本功能	231
7.1 快捷绘图函数 smartplot3d 的运用	231
7.2 3D 图形的 GUI 交互式设置	233
7.2.1 3D 图形工具栏	233
7.2.2 3D 图形快捷菜单	234
7.2.3 3D 图形窗口菜单	237
7.2.4 返回信息的快捷键绘图	238
7.3 基本绘图函数 plot3d() 的运用	241
7.3.1 plot3d() 的调用语句	241
7.3.2 二元函数表示的曲面	242
7.4 常用设置选项的分类表格	244
7.5 新版 Maple 的 Plot Builder	247
7.5.1 Interactive Plot Builder 的概念	247
7.5.2 Interactive Plot Builder 的结构	248
7.5.3 Interactive Plot Builder 的使用	253
第 8 章 Maple 的 3D 绘图包函数	257
8.1 生成图形的 3D 绘图包命令	257
8.1.1 plots[pointplot3d]	257
8.1.2 plots[spacecurve]()	258
8.1.3 plots[listplot3d]()	258
8.1.4 plots[matrixplot]()	259
8.1.5 plots[polygonplot]()	260
8.1.6 plots[cylinderplot]()	261
8.1.7 plots[sphereplot]()	262
8.1.8 plots[surfdata]()	264



8.1.9	plots[implicitplot3d]()	265
8.1.10	plots[polyhedraplot]()	266
8.1.11	plots[tubeplot]()	267
8.1.12	plots[coordplot3d]()	268
8.1.13	plots[fieldplot3d]()	270
8.1.14	plots[gradplot3d]()	271
8.1.15	plots[contourplot3d]()	271
8.1.16	plots[listcontourplot3d]()	273
8.1.17	plots[textplot3d]()	274
8.2	再造图形的 3D 绘图包命令	275
8.2.1	plots[setoptions3d]()	275
8.2.2	plots[display3d]()	275
8.2.3	plots[changecoords]()	276
8.2.4	plottools[reflect]() (反射)	278
8.2.5	plottools[translate]() (平移)	278
8.2.6	plottools[rotate]() (旋转)	279
8.2.7	plottools[scale]() (放缩)	280
8.2.8	plottools[homothty]() (位似)	281
8.2.9	plottools[project]() (投影)	282
8.2.10	plottools[cutin]() (“切边”)	282
8.2.11	plottools[cutout]() (“镂空”)	284
8.2.12	plottools[stellate]() (“隆陷”)	284
8.2.13	state[xshift]() 等	285
8.2.14	state[xyexchange]() 等	285
8.2.15	state[xscale]() 等	286
8.2.16	plottools[transform]() $\Rightarrow F: R^m \rightarrow R^n$	286
第 9 章	3D 图形数据对象及其绘图	291
9.1	3D 图形数据 O/S 的概念、种类和设置项	291
9.1.1	3D 图形数据对象的 7 种类型	291
9.1.2	图形数据 O/S 中使用的设置选项	300
9.1.3	用 3D 图形数据 O/S 绘图的方法	302
9.2	生成图形对象的函数	303
9.2.1	生成通用图形对象的 plottools 包函数	304
9.2.2	生成多面体图形对象的 plottools 包函数	310
9.3	图形数据 O/S 在编程绘图中的应用	313
9.3.1	关于绘图页面程序和用户自定义 proc 函数	313
9.3.2	一些常见图形的绘制思路及其 O/S	313
第 10 章	Maple 的 3D 动画	322
10.1	使用固有动画命令制作“外层”动画	323
10.1.1	animate3d() 的基本使用方法	323
10.1.2	观察 animate3d() 动画的数据结构	326
10.2	使用对象函数和绘图函数制作“中层”动画	329
10.2.1	dis-t 动画的基本制作方法	329
10.2.2	dis-t 动画的数据结构	329
10.3	使用页面编程方法制作“内层”动画	338
10.3.1	曲线的形成	338
10.3.2	曲面的形成	338
10.3.3	曲线的变形变位	338
10.3.4	曲面的变形变位	339
10.3.5	曲线族的生成	339
10.3.6	曲面族的生成	339
10.4	层次的交融	340
10.5	动画的帧页组合	340
10.5.1	帧页组合的方法和特点	340