

本书献给Pam和Gillian



这是挪威 Urnes Stavkyrkje 教堂北入口的缩小版复制品。该教堂建于 1130 年，接近北欧海盗时代（又称维京时代）的尾声。北欧海盗是造诣很深的艺术家，不只是长头发的野蛮武士。此照片是我在伦敦大英博物馆拍摄的。

推荐序一

在计算机科学的各个分支中，恐怕只有计算机图形学（computer graphics）和如此多的、初看起来不相关的、领域跨度又很大的学科（如果将艺术也看作学科的话）密切相关。这里说的不是对其他领域的一般性的了解和交叉，而是需要深入理解或具有很深的造诣。20 世纪 60 年代，最初由波音公司的研究人员提出计算机图形学的名词时，指的是计算机生成图像（computer generated image）的技术，它涉及将三维工件投影到二维平面上的方法，用于计算机辅助设计。到 20 世纪 80 年代，越来越多的研究关注自然场景的逼真生成和显示（realistic image synthesis），这显然是受到快速发展的计算机仿真、计算机辅助训练、计算机动画、电影、广告、游戏、虚拟现实和增强现实等的需求影响。1974 年开始的一年一度的 ACM SIGGRAPH 学术会议成为最受关注的学术会议，每次都吸引上万人参加，会议上不断给出令人惊艳的计算机生成的图像，极大地促进了计算机图形学的发展，也使计算机图形学成功地应用于计算机动画、电影和游戏软件中。要使计算机生成的图像能逼真漂亮地再现自然场景，尤其是动态的自然场景，需要对自然物体、光线传播、运动规律等建立准确的物理模型。最初的研究集中在物体建模，包括曲线和复杂曲面的建模、物体表面的光反射特性和纹理特性等。但当涉及动态物体尤其是非刚体如流体的视频图像合成时，就要涉及复杂的流体及流体与周围其他物体相互作用（如海浪拍打岩石）的动力学建模。在本书作者 Jos Stam 在 ACM SIGGRAPH'99 上发布的“稳定流体”论文前，虽然许多电影特效中已经有一些流体的计算机合成，但或者是合成的图像不够“漂亮”和“真实”，或者在图像合成时需要大量的人工干预和制作时间。Jos Stam 的论文及合成的流体运动图像震撼了计算机图形学界。Jos Stam 的工作既基于他对流体动力学的深入理解，又根据艺术再现的需要对模型做出最恰当的简化，从而能方便地、全自动地“真实”再现一大批灵动飘逸的流体运动。Jos Stam 的工作甚至可以在一般的手机上

实现。他最近十多年来在流体的计算机仿真方面做了大量的工作，本书对此做了系统阐述，尽量避免过于理论化的数学描述，把一个在计算机图形学中最难实现的、作者原创的流体动画技术通俗完整地呈现给读者。

计算机图形学是计算机科学还是艺术？作者谦虚地说“功劳应该全部归功于那些在电影中创造视觉效果的艺术师，我们只是提供了作为工具的画笔而已”。但这种画笔和我们通常意义上的画笔太不一样了，它不仅把“颜料”刷到画布上，而且要使画出来的东西既是“美”的，又有“真实感”。也许，“真实”的就是美的，但也许，正如作者所说，“通常在计算机动画领域，我们的座右铭是：如果它看起来不错，那就很好”。“真实”指的是符合客观的物理规律，“看上去美”是人的主观意识。作者的工作给我们带来的启示之一就是：如何实现“真实”和“主观感受”间的折中，使计算机图形学既是计算机科学，又是一门艺术；使计算机图形学的研究者既是科学家，又是艺术家。

马颂德

2018年4月16日于北京

推荐序二

本书译者叶军涛博士邀请我为他和杨旭波教授共同翻译的这本书写几句话。首先祝贺如此精彩的书在他们的努力下与中国读者见面！

本书的原作者 Jos Stam 博士是流体物理仿真领域的泰斗级人物。由于我们在国内从事该课题研究也算起步较早，对他的工作自然比较关注。而真正能够感受到 Jos Stam 博士的学术造诣与人格魅力的还是来自与他两次印象深刻的直接接触与交流。第一次接触是 2012 年 3 月，在由新加坡南洋理工大学媒体创新研究所（IMI/NTU）主任 Nadia Magnenat-Thalmann 教授组织的《三维交互数字媒体》的专家讲座论坛上，我有幸与 Jos Stam 一起受到邀请，并在第一天早餐时与他巧遇而单独交谈。我们自然地聊起了他的研究工作，特别是他在 SIGGRAPH'99 上发表的 *Stable Fluids* 论文，这篇论文是该领域的开山之作。跟许多步入该领域的研究者一样，我们深深受惠于他的研究工作：我的研究生柳有权从 21 世纪初以此为基础开展了基于 GPU 的流体仿真研究，以大规模城市场景的任意边界流体实时仿真的成果参加了 SIGGRAPH'04 的“基于 GPU 通用计算”的开创性研讨会 SIGGRAPH'04 GP2（后来称为 GPGPU）。我亦代表柳有权受邀在日内瓦大学第 17 届 CASA'04 年会上做了大会特邀报告（机缘巧合，Jos Stam 正是在日内瓦大学获得的学士学位）。然而当他谈起自己的这篇著名论文时，却令人惊愕地告诉我，该论文评审时只得了平均分 2 分左右。我大为惊诧，他却平静而面带微笑，未谈及其他的细节。我想那都不重要了，是金子总是要发光的，而且是在最耀眼的场合——有人慧眼识珠，那才是最重要的。

在那次讲座论坛上，Jos Stam 博士没有讲他的流体仿真与动画艺术课题，而是谈了数字媒体中的一些数学问题与想法。虽然我听得一知半解，但仍能感受到他极其开阔的思路与创造性的思维，恰如阅读该书时所能领略到的开阔学术视野与睿智。Jos Stam 人高马大，但无论何时他总是那么亲近平和，见不到不少大家

所惯有的居高临下的傲气。我记得在讲座中，我讲的主题是仿真某些自然物体基于物理与生物的建模与演化，是对我们工作的照本宣科，Jos Stam 从头到尾认真聆听，使我倍受感动与鼓舞。这种亲切与随和读者也可以从该书中深刻地感受到。

第二次接触与交流是在澳门的 SIGGRAPH Asia 2016 会议之后，Jos Stam 受邀在澳门大学图形组访问了一天，做了学术报告并与我的学生进行座谈。其报告与本书密切相关，演示了他在 Autodesk 的 MAYA 软件中实现的精彩流体运动艺术以及介绍了相关软件的开发成果。在这方面，记得很多年前计算机艺术的第一次浪潮是基于分形几何与混沌集的数学公式生成各种奇幻图案与动画，但是其应用范围十分有限。以 Jos Stam 为代表的基于物理的流体动画艺术将物理/数学计算生成的艺术变成可交互控制的、具有高度真实感的视觉享受以及工业应用的典范，而演绎这种精彩之顶峰的正是像 Jos Stam 这样的大师。

书中穿插着众多的物理/数学界前辈的历史典故，妙趣横生，使读者在无穷乐趣中既欣赏到了艺术的画面，又学到了多方面的知识。令我印象最深刻的是介绍家喻户晓的达·芬奇，他不仅留下了千古名作《蒙娜丽莎》，而且作为流体计算的祖师爷之一留下了流体仿真的画面。他所绘制的三维流体流线画作，即使以今天的标准来看也是矢量场可视化的上乘佳作，实在叹为观止！

该书不仅对大众读者是难得的科技读物，而且对于该领域的专业读者来说也是难得的好书。全书并未追求数学的严谨与系统，却将流体动画的生成原理与物理/数学基础描述得相当清楚。初学者如果在学习那些满是公式的数理教科书之前先来读一读本书，一定受益匪浅。比如书中对于流体计算核心内容之一的 Helmholtz-Hodge (HH) 理论的介绍，既通俗易懂而又点出了问题的实质：它完全跳过了流场散度与旋度的概念，避免初学者陷入雾障之中。

Jos Stam 博士既是理论的杰出探索者，又是实实在在的实践者。他的研究工作，包括本书中展示的动画艺术，他常常既是设计者，又是编程实现者。这使我联想起我所熟知的图形学界的另外两位大师：Nelson Max 教授与 Nishita 教授。他们都是 SIGGRAPH 成就奖的获得者，但是人过中年，仍然勤奋努力，亲自动手编程。他们是那种“既上得了殿堂，又下得了工房”的天才与杰出耕耘者，其勤奋与努力尤其让人钦佩！

Jos Stam 在澳门大学访问的一天中，从报告到座谈忙碌了一整天，第二天还要赶往香港。最让我感动的是：直到下班他才告诉我，他的腿部有些伤走路不便，能否去药店买些药，于是我赶忙开车带他去药店购药。正值下班高峰时段，氹仔城区根本无法停车，开到药店时让他先下车购药，我则继续转圈再回来载他回宾馆。这一幕使我想起 Jos Stam 在他书中讲述的一个与他本人有关的诙谐故事：有

专家质疑他在流体动画仿真中取消压力项的作法，他不无幽默地回答，那没有影响到流体动画的美观效果，而压力项只不过是一个拉格朗日乘子而已。在叟仔小城这个千万人车流动的流场中，每辆车顺流而动，恰恰是为了避免产生这个“拉格朗日乘子”。而无论它在局部是否产生，也都无关整个流场不可压缩特性的宏旨，不是吗？乐哈其成，如者斯也！

谨以此文向 Jos Stam 博士表达我的敬意与祝贺！

吴恩华

2018年5月18日

推荐序三

《流体动画的计算艺术》让程序员也变成艺术家。

本书的译者叶军涛博士邀请我给该书写一句推荐的话，以上是我的推荐语。

按说这样就完成任务了，但翻看这本书之后，我却欲罢不能。这本书勾起了我对计算机图形学发展历史的回忆。原著作者 Jos Stam 于 1999 年在洛杉矶召开的 SIGGRAPH 会议上作为唯一作者发表了题为《稳定流体》(*Stable Fluids*) 的论文，他在报告中演示实时流体模拟，像太极大师一样让流体在投影屏上纵横飘逸，艳惊了现场观众。SIGGRAPH 大会在当年有 4 万多人参加，技术“码农”和艺术“嬉皮”毫无违和感地聚集在一起，不失为视觉技术与艺术的狂欢节。1999 年的 SIGGRAPH 大会是一个特别的事件，那年埋下了太多的种子，于技术、于人，但这不是我现在要说的。这里值得交代的是，Stam 在 6 年后获得了图形学领域的最高奖，并于 2005 年和 2008 年两次获得奥斯卡技术奖。**在电影里引人入胜的风暴、海浪、烟雾、爆炸十有八九是用计算机模拟的，而这些很有可能和 Stam 的技术有关。**

那年我博士答辩，之后去临近的纽约大学库朗数学所 (Courant Institute of Mathematical Sciences) 做博士后。库朗数学所在数值模拟领域有一批世界顶级的学者。合作导师让我尝试流体模拟方面的研究，我其实有点为难。我之前的研究课题是数据可视化，很多可视化的数据来自科学模拟计算不假，但数据往往由其他领域的合作科学家提供。硬着头皮，我开始阅读这方面的文章，也和库朗数学所的教授和博士生交流，我很快得到的结论是，这个领域水太深了！一篇博士论文，可能只是对一个已知的流体现象改变边界条件。作为门外汉的我，对这个领域立马充满了敬畏。但听了 Jos Stam 在 SIGGRAPH 上的报告之后，感觉流体计算这一高深的领域，在他那里似乎变得那么简单，甚至好玩。我便开始尝试他的方法并和他进行邮件交流。我这个门外汉就这样很快地也实现了他神奇的“稳定

流体”，但采用不同的程序语言并嵌入了库朗的“秘密”插件。**这是 Jos 所倡导的，换一种语言实现，能帮助你真正理解算法的内涵。**

但 Jos 在书里自称门外汉，这是 Jos 特殊的表达方式，并不是为了表示谦虚，其实反映了他对传统方法的一种挑战。他把高深莫测的流体计算拉下“神坛”，让其返璞归真，这源于他对数学方法的透彻理解。针对计算机动画的现实需求，他能有创意地设计最轻便的求解方案，甚至能在苹果手机上实现实时流体模拟计算。这本书充满了这样的创意，包括对问题的描述和解释，也体现了 Jos 特有的幽默，书中有不少幽默但充满哲理的句子。如果你和 Jos 熟识，读着那些句子会发笑。

Jos 自称叛逆者，这个我同意，只是他不是一般意义上的叛逆者。他不迷信那些花哨的东西，他很较真，绝对不追逐哗众取宠的东西。他毕业于多伦多大学。Geffory Hinton（深度学习奠基人，人工智能领域的三巨头之一）也是那所大学的教授，看来多伦多这个寒冷的地方盛产顶级学者。

我们现在处在一个信息极为发达的时代，热点形成和传播都很快。每天网络上充满了爆炸性新闻，媒体配合产业的发展把技术革新变成了 T 台上的时装走秀，一场发布会便诞生了一代新的“神”科技，把科学家变成摇滚明星。Jos 这样的学者永远不会愿意成为摇滚明星，尽管他的打扮有些像。现在深度学习大行其道，学生们趋之若鹜地贴深度学习的标签，寄希望于用数据去学习而不是自己真正理解问题的本源和规则。这些同学应该好好读读这本书，即使你不做这方面的研究。

Jos 总是讲一些大实话：你可以糊弄你的同事和朋友，但糊弄不了计算机。

最后，中国在计算机图形学研究方面，做物理模拟研究的人还太少。去年成立的北京电影学院未来影像高精尖创新中心成立了专门小组开始这方面的研究，希望有更多的学生加入这方面的研究中来。在中国有 Jos 这样的数学头脑的人不罕见，但同时具备他的艺术头脑的人可能就寥寥无几了。读这本书的收益之一是让你能体会到这两者是如何和谐地结合在一起的。

在 2017 年的最后一天写这篇序，正好作为迈向 2018 年的自我告诫，**stay cool!**像那位两米高的巨人那样。而且，2018 年肯定请他来交流一下，前提是，他坐着，我站着。

陈宝权

2017 年 12 月 31 日于青岛

译者序一

一提到“计算流体力学”这个词，即使是理工科专业背景的人，首先想到的往往是含混晦涩的偏微分方程，或者一尘不染的超算中心，这看似很高的门槛曾让很多技术爱好者虽有热情也只能望而却步、敬而远之。然而不管你是否注意到，计算流体力学已经走进了我们的日常生活，大到投巨资制作的电影，小到手机中的视频游戏，逼真的流体特效越来越常见。这很大程度上得益于最新的流体动画生成技术，而在这方面，Jos Stam 博士做了开拓性工作。Stam 博士将自己的这段科研经历整理成 *The Art of Fluid Animation* 一书，我们将这不可多得的入门级教程的英文原著翻译成中文，取名《流体动画的计算艺术》，以飨读者。

Stam 博士是一个身高超过两米的大个子，即使在有数万人参会的 SIGGRAPH 会场你也无法忽视他的存在；而更令人无法忽视的是他在计算机图形学领域的成就，他是图形学发展史上的一座丰碑。由于在细分曲面和流体模拟方面的贡献，他曾获 SIGGRAPH 计算机图形学成就奖及两度奥斯卡技术成就奖。他在十几年前播下的那颗流体动画的种子已经成长为参天大树，如今有成千上万的人在从事流体动画相关工作，创造出了电影中炫酷吸睛的流体特效。除了上述两项成就之外，Jos (/jɔ:s/, 对，发音听起来像“钥匙”) 后来又攻坚另一个难题——布料模拟，他为 MAYA 软件研发的 Nucleus 求解器被众多电影工作室用来生成服装动画特效（我认为这项成就应该为他赢取第三尊奥斯卡小金人）。Jos 在全球有众多粉丝，他也曾数次来到中国，除了参加学术会议和与 Autodesk(中国)进行工作沟通外，还曾作为 SIGGRAPH 的特使在深圳与多家当地动漫公司进行互动交流。他对中国文化和文字有着浓厚的兴趣，还为自己起了中文名字叫“尤士丹”。

本书用通俗易懂的语言讲解了流体力学的本质，并试图教会程序员写出第一个流体模拟的程序。Stam 著书时坚持的一条原则就是“以非数学的语言来描述数学原理”。本书的前半部分更像是一部简要数学史，很多读者耳熟能详的数学家依

次出场，述说着他们对流体计算的直接或间接贡献。透过历史的画卷，流体动画技术中的众多概念被深入浅出地做了解释。读过之后你会发现掌握流体动画技术其实并不需要高深的物理或数学技能。本书后半部分主要阐述了如何通过计算机代码以有趣的方式创建流体动画，如水、烟、火和爆炸效果等。书中的很多内容是 Stam 在世界各地做报告时针对听众所提问题的解答、阐述以及后续思考。本书包含了计算机代码，除了供读者下载运行外，更是为了鼓励读者对书中描述的流体技术做进一步扩展。对有抱负的程序员来说，这些代码只是创建自己的流体动画程序的一个起点。本书的定位是普及型读物而不是学术型专著，我们希望对计算机动画技术感兴趣的大学生甚至中学生成为本书的读者。当然，对于专业从事流体模拟的研究人员来说，阅读本书可以带你体验作者当年完成这项开拓性工作的心路历程。

2015 年秋天，Pacific Graphics 会议在清华大学举行，Stam 是程序委员会的主席。那时 *The Art of Fluid Animation* 一书刚刚定稿但尚未开印，他身穿一件胸前印有本书封面图案的黑色 T 恤为自己的新书做宣传。2016 年夏天，我借到加拿大旅行之机顺便访问了在多伦多的 Autodesk 公司，获得 Jos 的赠书，期间谈到中国有众多流体动画的爱好者，应该使他们能以更低的成本获得本书。在我就引进影印版权的事宜跟国内出版社咨询后，得知目前存在诸多障碍，无奈之下只好考虑翻译这条路。由于该书语言优美，轻松幽默，口语化风格犹如 Jos 在娓娓道来，我认为翻译后的效果恐怕要大打折扣，因此迟迟未下决心。上海交通大学的杨旭波教授得知此事后表示愿意参与翻译工作，这是我求之不得的。杨老师在流体动画领域深耕多年颇有建树，有他坐镇把关我便不再忐忑。在翻译过程中，译者跟 Jos 进行了多次邮件往来，力求精确翻译每个微妙的表达，也发现并更正了原文的几处错误。鉴于原文中众多的口语化英语和夹杂的法语与意大利语、中外文化差异以及译者的理解水平，恐难原汁原味地传递原文的本意，不足之处敬请广大读者批评指正。

中国科学院自动化研究所的研究生陈岚和上海交通大学的研究生张锐参与了本书的翻译工作。马颂德研究员、吴恩华教授、陈宝权教授为本书倾情作序，傅红波教授、李维博士和许铭俊先生等人鼎力推荐，使本书增色不少。在此对他们表示衷心感谢。最后要感谢电子工业出版社，在行业普遍追求经济效益的大气候下，牢记自己的社会责任，为传播知识而支持了本书的出版。

叶军涛

2018 年 5 月 2 日于北京

译者序二

2016年12月初，我在澳门参加 ACM SIGGRAPH Asia 大会，带了两名博士生去听流体动画论文报告，见到了两米高的分会主席 Jos Stam。和他的身高一样，Jos 的技术成就也令人难以望其项背。Jos 是 ACM SIGGRAPH 计算机图形学成就奖得主，并两次获得奥斯卡技术成就奖，他是流体动画的开拓者和大师级先驱，他 1999 年在 SIGGRAPH 上发表的 *Stable Fluids* 一文，是流体动画研究者必读的经典开山之作。

在主持报告结束之后，巨人 Jos 手持小小的平板电脑，热切地向我推荐了他呕心沥血写成的一本新书 *The Art of Fluid Animation*，希望有更多中国读者能读到他的书。中国科学院自动化所的叶军涛老师也在场，邀请我一起将这本书翻译成中文。我翻看了一下这本书的英文原著，欲罢不能，遂欣然应允。于是，前后花了一年时间，和叶老师共同负责并由张锐等同学协助，完成了这本书的中文翻译，并定名为《流体动画的计算艺术》。

烟雾、水等流体的飘逸灵动是自然界十分令人着迷的现象，也是很多科学家和艺术家所青睐的研究对象，如何用计算机去表现流体动画是人们孜孜以求的目标之一，但流体动画背后的物理、数学和计算原理又常让人感觉深奥莫测、望而却步。

Jos 的书揭开了这一神秘面纱，从其个人视角写了一本引领读者进入流体动画领域的科普作品和技术史话。在书中，Jos 以诙谐幽默的口吻，对流体动画的相关人物、历史和技术发展娓娓道来，如数家珍，向我们展现了计算机、数学、物理和艺术是如何巧妙地融合在一起，最后绘制出绚丽动人的流体动画效果的。这本

书很适合因被流体艺术所吸引登堂入室，且对数学、物理、计算、编程有浓厚兴趣的读者阅读。本书围绕着流体动画的计算艺术，讲述了一个个让人难忘的故事。

希望这本书能给大家带来一段愉悦的科学和艺术之旅，领略到流体动画的计算之美和编程之美。

是为序。

杨旭波

2018年1月1日于上海

前言

我不能创造的东西，我就不理解。

理查德·费曼 (Richard Feynman, 美国著名物理学家、诺贝尔奖得主)

真正能够增长知识的讲座往往不受欢迎，受欢迎的讲座却带不来知识。

迈克尔·法拉第 (Michael Faraday, 英国著名化学家)

一个数学理论通常是不完备的，除非你能够很容易地给街上碰到的第一个路人讲解清楚。

大卫·希尔伯特 (David Hilbert, 德国著名数学家)

我没有正式的流体动力学背景，也不是工程师，也不具备流体相关的数学或物理学专业学位。这反而是我的幸运，因为我没有负担。另一方面，我有纯数学和计算机科学的学位以及艺术背景，更重要的是，我已经编写了计算机代码来生成流体的动画。^①

我编写代码，这是底线。

我不只是从互联网下载一些代码然后将它们揉捏在一起，所以我想我明白自己在说什么。当然，它是基于前人的工作的。流体背后的理论和概念不是我发明

^① 当然我也做一些其他事情，国际象棋、翻版帕克曼游戏、打暑期工写代码挣钱、光线跟踪器、粒子系统仿真、曲面建模以及最近的统一动力学求解器 *Nucleus*。这是代码之美，你可以教计算机做各种事情，在任何地方都可以，你所需的只不过是一台能上网的笔记本电脑。这有点像数学，数学家就像一个聪明的工匠能把咖啡变成定理。写代码和搞数学都不受地点限制，从里约的科帕卡巴纳海滩到遥远的北加拿大的小木屋。

的，研究是一个长期的过程。

想愚弄计算机是徒劳的。

你可以愚弄学生、同事或朋友，却不能愚弄电脑。为什么？电脑是一个愚蠢的自闭症宠物，但却是最好的宠物。它思考速度非常快，且无条件服从。创建计算机代码是你是否理解某事的最终测试，能把它教给电脑说明你理解了它。如果你在一家公司工作，你必须处理市场营销、公共关系、销售和客户反馈周期。

客户反馈是残酷的实话。他们为你的软件付钱，希望它能工作。如果软件不工作，客户会告知你，所以它要么工作，要么不工作。而后现代文学辩论却不是这样的。在某一时刻每个人都是对的，或者都是错的，但这些由咖啡或葡萄酒推动的争论可能比花费几个小时用咖啡修正出的能工作的电脑代码更有趣。

我喜爱写代码，并且我喜爱修正我自己写过的代码。

本书的作者在某某种意义上是一个门外汉。然而，通过编写计算机代码我了解了流体力学。这本书无法作为通常意义上充斥着精巧方程的流体力学的课本。我其实很懂方程式并且很喜欢它们，它们帮助我了解流体。但对大多数人来说，方程看起来像从其他宇宙来的奇怪的形象文字。

中文文字带给我同样的感觉。

这就是为什么对于大多数人来说，花哨的方程并不是很有帮助。当我收到一封完全用汉字写的电子邮件时，我会忽略它。什么？！否则我就选择去上课学汉字，那会很酷，下次我去中国时就不会遭遇困境了。但这将是一个很费时的工作，而我的时间是有限的。另一方面，在陌生的土地上做一个外来人也是很有趣的经历。

我希望这本书对那些不精通数学或物理学的人有用，同时我想把它写成有趣的书。我也是这样做科研的，我喜欢融趣味于工作。这本书的某些部分涉及数学，我的希望是，对于那些愿意读下去的人来说，书中的数学是可以理解的。当你读一篇不熟悉领域的数学论文并试图理解它时，这是一种常见的策略。起初，先试图理解文章的主旨；然后，如果你觉得文章挺酷就继续研读细节；如果它真的令人兴奋，你应该尝试写一些代码去实现文章的内容。

本书的每章结尾处都给出了一个自然段的总结。当我在大学学习数学和计算机科学时我就发现这是一个很好的做法。在一次讲座之后我学到了什么呢？我从日内瓦大学一个名叫彼埃尔·德·拉·哈珀的数学教授那里学到这一招，他在每次讲座开始时都会总结上次讲座的内容。

如果你同时选修了好多课程，这种方法真的很有帮助。我也倾向于使用一些与众不同的工具或手段去理解有些知识，我喜欢从不同的角度去重复事物。我喜

欢和自己争论，这样我可以既是正确的又是错误的，只是不在同一时刻而已。你也可以从这个过程中学到一些有趣的东西。这也是一个很好的演讲前的应对策略，这使你对大多数问题都有所准备。任何提问都不是愚蠢的，有些问题甚至可以为指出新方向，我总是乐于探索新的想法和不断学习。你永远不可能是一个房间里最聪明或最有创造力的人。

本书的主要目的是展示如何创建能使流体动起来的计算机代码，随书附带了计算机代码，读者可以下载并在自己的电脑上运行。

我的目标其实更远大，我希望程序员使用这些代码作为一个起点来创建自己的应用程序、游戏等。其实我的一些代码已经公开超过十年了，许多人都用它作为起点创建了自己的游戏、有趣的演示和应用程序。如果有程序员能以完全不同的方式或完全不同的语言重写代码，那就更好了，那会非常酷。我想挑战任何读者，看你能否用 C 写一个更短的但仍然易读的版本。

我不想把本书写成“流体力学傻瓜书”的风格，因为我认为读者是聪明而有创造性的，他们想知道如何在计算机上模拟流体创建“养眼”的动画。事实上，我希望聪明、有创造性的程序员阅读这本书，并扩展代码创建新的应用程序。我希望本书激发人们做自己的东西，去创造而不是想当然。

要做一个叛逆者。

叛逆的方式不是去破坏而是去创造。

有时一封从很遥远的地方（比如印度）抵达多伦多的电子邮件会使我感到很愉悦，发邮件的人告诉我他创建了一个基于 Web 的应用程序，结合了流体和反应扩散过程。哇！程序运行在一个网页上，发件人对我表达谢意。多么酷啊，我这一天肯定是很有成就感的。

已经有很多关于流体力学的技术书籍，我不希望本书太偏重技术，而是要与众不同。我希望本书是两本我最喜欢的流体力学图书之间的桥梁：

An Album of Fluid Motion，由弥尔顿·范·戴克^①（Milton Van Dyke）收集而成。

A Mathematical Introduction to Fluid Mechanics，由亚历山大·科林（Alexandre Chorin）和杰罗尔德·马斯登（Jerrold Marsden）所著。

^① 我得讲讲这个故事。我从弥尔顿（Milton）的网站上订购了这本书，在订购时并不需要为此付费。当这本书通过普通邮件送达的时候，我才注意到有一份通知，要求寄一张相当小数额的支票给住在加州帕拉阿图的弥尔顿·范·戴克。我认识的人中谁也不会抢劫一个能将如此美妙的图片集合成册的人。当然，我立即把支票寄到了该地址，并在支票背面写上“谢谢”。

第一本书是关于著名流体实验的图片集，它是完美的极客咖啡桌必备图书。

第二本书是对流体力学的简明数学介绍。这本书通过严格的数学手段为我澄清了流体力学的许多模糊的方面。考虑一个这样的声明：“压力是从无散度约束中得出的拉格朗日乘子。”如果你对这句话有感觉，那么科林和马斯登的书是写给你的，但请先继续阅读本书。

本书也是我如何处理流体动力学的个人说明，起初晦涩难懂，而后进入启蒙阶段，直到能够编写计算机代码。

我尽量使本书的叙述能够引人入胜。研究不只是一些貌似无迹可寻的客观事实的集合。流体科学是由历史上真实的人们创造或发现的，向他们致敬是天经地义的。不用担心。

本书并不会去描述这些科学家们有多少妻子、丈夫、恋人或孩子，另有很多其他书籍是记录他们的个人生活的，我不是这些问题的专家，对他们的课外活动也没有特别的兴趣。本书仅限于他们的科学成就。^①

本书是在我过去十五年里所做的报告的基础上诞生的，所以它有些非正式的口语风格。希望每一位读者都能用搜索引擎，因为详尽的参考文献列表并没有给出，如果你喜欢书中的一些内容并想了解更多，请动手搜索相关信息。这也是我每天的工作内容。我想念过去那些不得不去图书馆的日子，但仅仅是怀旧而已。

我第一次做关于流体话题的报告是在一年一度的计算机图形学会议 SIGGRAPH^②上，那是 1999 年在洛杉矶，报告的论文题目是“稳定流体”(*Stable Fluids*)。对我来说那是一次抓狂的会议，我当天下午还有另外两个完全不同主题的报告，^③我不得不打包我的设备——一台 SGI Octane 工作站，叫了一辆出租车从位于 Figueroa 大街一头的威斯汀大酒店赶到大街另一头的会议中心。

好在一切顺利。

这是第一次流体模拟程序对用户的输入做出了实时反应，会场中掌声雷动。两年后，在洛杉矶再次响起掌声，这次是为我在口袋电脑^④ (Pocket PC) 上演示

^① 但还是要“八卦”一下，本书中的英雄之一莱昂哈德·欧拉，有 13 个孩子。传说他在抱着一个孩子的时候做了一次最好的数学研究。

^② SIGGRAPH 是 Special Interest Group on GRAPHics and Interactive Techniques 的缩写，自 1974 年起这个会议每年在北美的不同城市举办，它是图形学从业者的麦加，是发表图形学论文的顶级场所。有超过 4 万人参加了 1999 年的会议。

^③ 另外两个报告分别是关于细分曲面和衍射着色器的。

^④ 口袋电脑是微软公司在 2000 年发布的，靠一个叫作 Windows CE 的操作系统而运行。我是在康柏公司的 iPAQ 机器上运行我的演示程序的。2007 年，苹果公司发布了 iPhone/iPod，后面我还会提到。

的实时流体模拟。我写它只是为了好玩，口袋电脑能够放在衣服口袋里（因此得名），因此我能够随处展示我的流体：在聚会上、在地铁上或给生活在欧洲的家人。

后来才有人告诉我，人们先前曾怀疑我两年前的演示的运行速度快是由于使用了昂贵的硬件，但这些疑虑被我打消了。当人们不认可并挑战你的工作时，这实际上是一个好兆头。如果根本没有人关心你的工作，那么你的工作又有什么意义呢？

怀疑者们认为我的演示程序运行得很快是因为我使用了一台SGI Octane工作站。^①我当时需要Octane工作站是因为它具有三维硬件纹理渲染能力。哦，另一个原因是我能免费获得它，并且它是当时最好的工作站。但是它太重了，根本不利于随身携带，^②更无法装进衣服口袋中。我为移动设备编写应用程序的唯一原因是因为这是一件很酷的事情。最后结果表明，软件有时胜过粗暴蛮力的硬件。

做这件有趣的事情时，我住在华盛顿州的西雅图市，那是在20世纪90年代后期，在“西雅图之声”乐队（Grunge Scene）搬去洛杉矶不久。^③当时被我们称为MAYA的动画软件即将面世。我们曾经在加利福尼亚的阳光明媚的圣巴巴拉有一个办公室，那里的人总是很快快乐。当我从多雨的西雅图抵达那里并展示了实时演示程序，他们立即想把它纳入MAYA软件。这是2000年的事情。经历了如同过山车似的起伏后，流体求解器最终以流体特效的名头在2002年出现在MAYA 4.5中。如果没有加拿大多伦多的MAYA开发团队中许多人的帮助，这个版本将是不可能完成的。他们承担了将我的研究代码变成一个真正的软件的大部分工作，并添加了自己的秘密“酱料”和“香料”。

将研究代码纳入产品需要花费大量的时间和精力，这点请相信我。最终它变成了MAYA的一部分！我们发货了，人们正在使用它。我们没有把时间浪费在一些零件上来证明我们在辛苦忙碌地工作。更重要的是，我们做得很开心，至少我是很开心的。

2008年，我写了一个在iPhone/iPod上运行的流体应用程序。我这样做主要是因为iPhone支持OpenGL ES、有一个加速度计和多点触摸接口。所有这些都是

^① 当时我在SGI工作，Octane工作站就是该公司生产的，当时售价6万多美元，现在你在eBay上花大约200美元就能买到。哦，对了，SGI代表Silicon Graphics Incorporated（硅图形公司），它曾经是加州硅谷最热门的公司，现在已经不存在了。Google已经占领了他们在山景城的园区。

^② 一台Octane工作站重达24.3公斤（54磅）。

^③ 西雅图仍然有不少优秀的乐队，例如“谋杀城市魔鬼”（Murder City Devils）和“罗夏墨迹测验”（Rorschach Test）。

2000 年我认为在一个交互式流体应用程序中应该拥有的。在后面我会更多地介绍这个经历。在 2010 年，我们发布了原始应用程序的改进版 Fluid FX。

总结：我在流体动画领域播下了种子，别人也播了，但这是关于我的故事。

Jos Stam
于加拿大多伦多

致谢

写书、做研究并不是孤独的旅程，我有太多的人要感谢。首先，我要感谢我的妻子 Pamela 二十四年来给我的支持和爱，她是我最好的朋友。感谢我的女儿 Gillian，因为……因为她是我的女儿，她甜美、聪明、漂亮。感谢我的哥哥 Sim，他把我领进了科学和计算机的大门，如果没有他，我可能会成为阿姆斯特丹的一个流浪艺术家。当然更要感谢我的父母 Jos 和 At，还有我的两个姐妹 Nel 和 Go，他们使我的生活有了一个精彩的开始。我们家的荷兰语名字都很短，我甚至没有中间名。

我要感谢 CRC 出版社，特别是瑞克·亚当斯 (Rick Adams)，他使得这本书得以出版。当然，要感谢我的公司 Autodesk 给我时间来写这本书。特别的，我要感谢戈登·库特巴赫 (Gordon Kurtenbach)、阿扎姆·汗 (Azam Khan)、弗朗西斯科·伊里奥 (Francesco Iorio) 以及研究组的其他成员，能成为这么酷的团队中的一员真是太幸运了。还要特别感谢克里·莫克 (Cory Mogk) 使用 MAYA 流体效果生成了本书的封面。感谢在大多伦多的流体特效团队基于我的解决方案创建了这些很酷的应用程序，其中要特别感谢的是丹·普雷斯曼 (Dan Pressman) 和谢尔盖·布亚诺夫 (Sergey Buyanov)。我还想感谢在大多伦多的 MAYA 团队和过去在圣巴巴拉和西雅图的团队。这是一支庞大的队伍，如果我要挑出一个人的话，那就是邓肯·布林米德 (Duncan Brinsmead)。

我要感谢我的高中和大学朋友马库斯·格罗特 (Marcus Grote)，感谢我们过去所进行的所有激动人心、充满智慧的讨论。但与当前的工作更相关的是，他介绍给我肖林和马斯登 (Chorin & Marsden) 的书，这本书使我摆脱了困惑和黑暗。因为他的父亲在欧洲核子研究中心工作，我们在 20 世纪 80 年代早期就有了一次关于计算之未来的 VIP 之旅。感谢我高中最后一年的数学老师尼古拉斯·卓凡尼尼 (Nicolas Giovaninni)，他让我见识到有趣数学和无聊数学之间的区别，突然间我的数学成绩达到了最高分！感谢尤金·费乌姆 (Eugene Fiume) 教授接受并录

取我进入一所北美顶级研究生院：多伦多大学，同时也要感谢他一直以来对我的支持。尤金也是一位优秀的导师，让我去做我想做的事情，而且毫不在意我在中年的时候才出现下午五点又离开。

感谢多伦多、巴黎、赫尔辛基和西雅图这四座城市。这本书中描述的大部分研究是在上述城市完成的，尽管在上述城市都受到一些干扰。我发现在不同的国家生活过是一件好事，你可以摆脱任何“民族自豪感”和“地方主义”，^①这些东西阻碍了自由和创造性的思考。四处搬动也会让你谦卑，因为你必须学习一门新的语言，适应一种新的文化，这也会让你在智力上更富有。所以要有学习的意愿。

我还要感谢SIGGRAPH计算机图形技术成就奖委员会在 2005 年为我颁发了一个奖项，本书所描述的工作也是获奖的部分原因。感谢电影艺术与科学学院为流体效果在MAYA中的实现而给我们颁发技术成就奖。我当然遗漏了许多影响过我的人，如果你在读本书，你知道说的是谁。谢谢大家。^②

^① 除非是橙衣军团正在绿茵场上战斗。

^② 如果你觉得自己被漏掉了，请参见我在 SIGGRAPH 上的获奖感言的一页幻灯片。对，就一页，链接在这里：http://www.autodeskresearch.com/pdf/talks/jos_award05.pdf。如果你仍然觉得自己被遗忘了，我只好戴上我的加拿大遮阳帽说：“对不起，伙计，但还是要谢谢你。”

关于作者

尤士丹 (Jos Stam) 出生于荷兰，在日内瓦接受教育并获得计算机科学和纯数学的双学士学位。1989 年他来到多伦多，在那里攻读了计算机科学的硕士学位和博士学位。之后，他作为 ERCIM 博士后在法国的 INRIA 和芬兰的 VTT 从事研究工作。1997 年，尤士丹博士加入 Alias 西雅图分部担任研究员，2003 年他搬至 Alias 在大多伦多的总部。2006 年，作为欧特克公司 (Autodesk) 收购 Alias 的条件之一，他留任了高级研究科学家一职。在本书中文版开印之前，他刚刚从欧特克公司离职，目前仍留任多伦多大学的兼职教授。

尤士丹博士的研究跨越了计算机图形学的多个方面：自然现象模拟、基于物理的模拟与渲染、曲面造型（特别是细分曲面技术）。在上述领域他有多篇论文发表于 SIGGRAPH 年会上。2005 年，尤士丹博士被授予计算机图形学中一个最负盛名的大奖：SIGGRAPH 计算机图形成就奖。此外，他赢得了两次美国电影艺术与科学学院奖的技术成就奖（俗称奥斯卡奖）：2005 年他因细分曲面的工作而获奖，2007 年他因流体动力学的工作而获奖。2008 年 1 月号的《连线》杂志 (*Wired*) 发表了关于他的特别报道。

读者服务

轻松注册成为博文视点社区用户（www.broadview.com.cn），扫码直达本书页面。

- **提交勘误：**您对书中内容的修改意见可在[提交勘误](#)处提交，若被采纳，将获赠博文视点社区积分（在您购买电子书时，积分可用来抵扣相应金额）。
- **交流互动：**在页面下方[读者评论](#)处留下您的疑问或观点，与我们和其他读者一同学习交流。

页面入口：<http://www.broadview.com.cn/34372>

