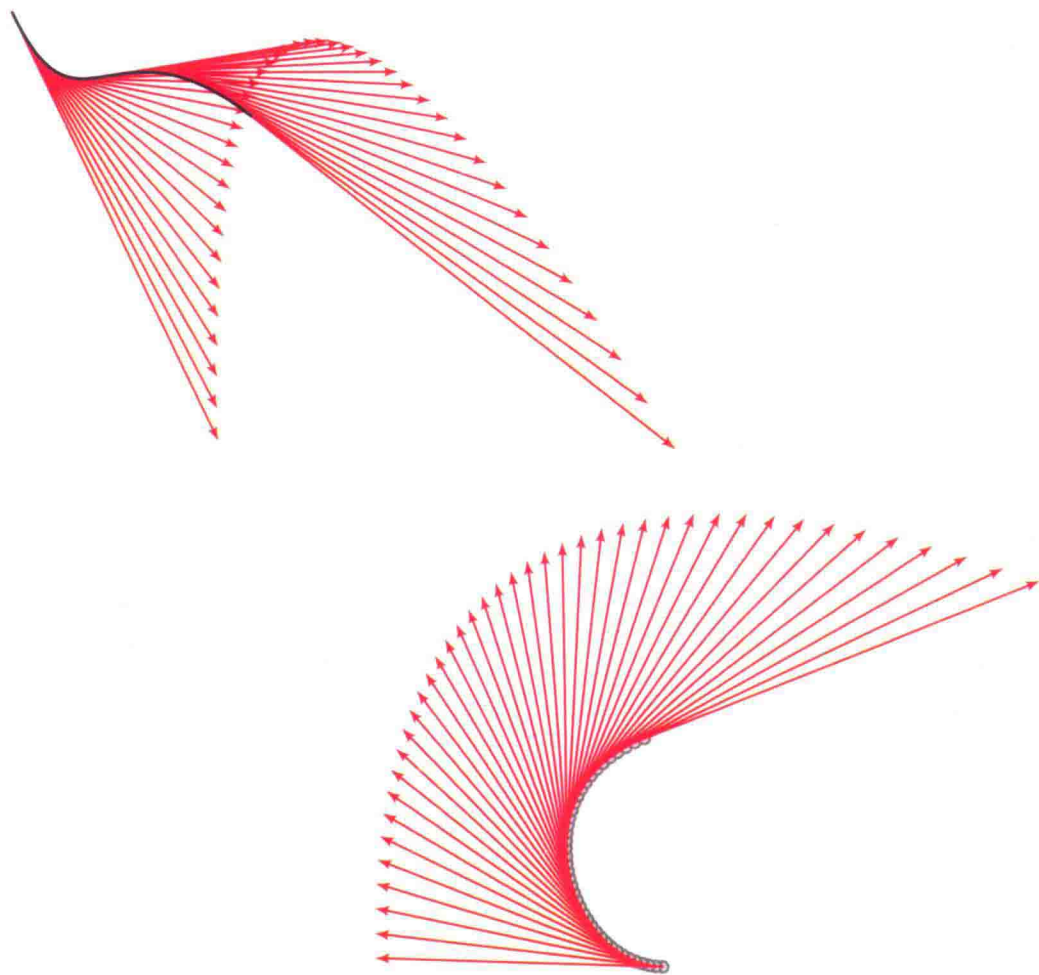


ELEMENTS OF PARAMETRIC DESIGN

建筑院校计算机
辅助设计译丛

参数化设计元素

[美] 罗伯特·伍德伯里 著
孙澄 姜宏国 殷青 译



中国建筑工业出版社

TU201.4
411

建筑院校计算机辅助设计译丛

参数化设计元素

ELEMENTS OF PARAMETRIC DESIGN

[美] 罗伯特·伍德伯里 著

孙澄 姜宏国 殷青 译

编委: Onur Yüce Gün, Brady Peters

Mehdi (Roham) Sheikholeslami

中国建筑工业出版社

国家自然科学基金资助项目(项目编号: 51278149)

著作权合同登记图字: 01-2011-7326号

图书在版编目(CIP)数据

参数化设计元素/(美)伍德伯里著;孙澄等译. —北京:中国建筑业出版社, 2013.10
(建筑院校计算机辅助设计译丛)
ISBN 978-7-112-15856-0

I. ①参… II. ①伍…②孙… III. ①建筑设计—设计参数 IV. ①TU2

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第219496号

Elements of Parametric Design / Robert Woodbury

Copyright © 2010 Robert Woodbury

All rights reserved. Authorized translation from the English language edition published by Taylor & Francis Group.

本书原版由英国Taylor & Francis Group 出版公司出版, 并经其授权翻译出版。版权所有, 侵权必究。

Chinese Translation Copyright © 2015 China Architecture & Building Press

China Architecture & Building Press is authorized to publish and distribute exclusively the Chinese (Simplified Characters) language edition. This edition is authorized for sale throughout Mainland of China. No part of the publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

本书中文简体翻译版授权由中国建筑业出版社独家出版并在中国大陆地区销售。未经出版者书面许可, 不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

Copies of this book sold without a Taylor & Francis sticker on the cover are unauthorized and illegal.

本书封面贴有Taylor & FrancisGroup 出版公司的防伪标签, 无标签者不得销售。

责任编辑: 戚琳琳 董苏华 责任设计: 董建平 责任校对: 陈晶晶 张 颖

建筑院校计算机辅助设计译丛

参数化设计元素

[美] 罗伯特·伍德伯里 著
孙澄 姜宏国 殷青 译

*

中国建筑业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京嘉泰利德公司制版

北京盛通印刷股份有限公司印刷

*

开本: 787×960毫米 1/16 印张: 19³/₄ 字数: 364千字

2015年11月第一版 2015年11月第一次印刷

定价: 158.00元

ISBN 978-7-112-15856-0

(24558)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

献给 Gwenda、Lan和Cailean

序

参数化更多的是指一种思维方式，而不是指具体的软件应用。它源起于机械设计，对于建筑师而言，同时借鉴了它的思维和技术。它是设计师可用来找到外星人的一种思维方式，但是首先需要的是一种寻求表达和探索相互联系的思想观念。

内置于这种探索方法的一种理念是能够捕捉设计历史，并以一种可编辑的形式返回——即能够随时变更并重新演示。这种理念的力量就是相信从设计历史的演变可以推断出设计的未来。有时它能够完成这一任务，但是这就需要更多的实践来达到流畅水平，可以通过直觉来发挥作用。

对于一个音乐家而言，对参数化概念的理解可能比一个艺术家更容易。这是因为音乐家针对演出所进行的预演——正是参数化大师的一项重要特征。另一方面，对于艺术家而言，技术的积累对于作品的影响是十分偶然的，它是艺术表现形式直接作用的结果。对于这一点，没有任何书面评分可以精确调整和回放。然而，在最高流畅层级，我们也许会看到能够“通过代码描绘”的一代出现。

参数化应该用一条警示——“要么开怀畅饮，要么不要尝试”清晰地注明。所以最好的建议是在继续阅读本书之前做出你的选择，或者允许你的好奇心引导你继续下去。

—— Hugh Whitehead

在第三个千禧年的开端，人们愈来愈认识到建筑设计实践的变化速度能够比前几十年有更大的提升。随着经济压力的增长，传统惯例只能做出改变，支持设计与实施的紧密结合，以及风险与回报共担的创新。与此并行的是，气候变化重新激起了我们对于资源过度使用、投资成本与长期设计性能的价值平衡等的深切关注。跨越学科和项目阶段的联合设计团队能够做出同步的、相互关联的设计决策。这样的决策涉及相互关联的子系统，这些子系统通过整体系统传播变化，并允许设计团队创建更多的设计选择。另外，通过分析或者模拟周期，来验证设计假定的投资，能够更好地减少风险。

采用参数化模型，早期的设计模型相比传统的 CAD 模型，在概念上更为强大，并且比构建建筑信息模型存在更少的束缚。参数表达了包含在这些新型模型中的概念，并为构建元素和系统提供了交互行为。这就意味着在工具使用中，需要能够支持设计活动的改变。例如，Bentley 系统的 Generative Components 工具，就提供了一种在类似于 CAD 建模为基础的设计方案和以脚本为基础的设计方案两者之间流畅的转换。这些新的参数化系统支持从一次性 CAD 建模到应用几何观念和行为进行思考和工作的转移。不是构建单一解决方案，而是设计者探索一种完整的参数化描述的方案解决空间。

全新的参数化工具对 CAD 工作实践提出了挑战，从业者和学生们同样必须学好如何使用这样的工具。我们知道学习的质量决定于教学的质量。本书的作者罗伯特·伍德伯里（Robert Woodbury）博士已经教授 Generative Components 工作组很多年，同时智慧地穿越了仅作为使用工具的层面，将他的教学提升到一个全新的理念层级。伍德伯里博士和他的学生选择了该种模式的主题来解释概念层级，并且阐明了它的组分特征，同时提供了对于参数化设计十分有用的新函数。初步成果参见网址：www.designpatterns.ca，并且现在已经为本书进行了修订。同时，伍德伯里博士用简单的、但完全可以理解的方式，综述了几何学的基本原则，因为它们对于参数化设计是有帮助的。通过穿插的实践案例分析，举例说明了这种新一代的工具可以帮助设计者完成的设计类型。

在过去的几年中，我观摩了伍德伯里博士在 Generative Components 中的教学，并且经常参考到他的设计模式。我希望本书能够对他们的参数化设计教学中的教员具有指导作用，并激发实践者和学生们关于设计新思路的想象力。

致谢

编写一部书需要一个团队。虽然这里的概念、文字和任何错误都归咎于我，但是我仍然十分感激很多人的建议，获得了许多人的技术帮助和个人支持。

首先，Onur Yuce Gun, Brady Peters 和 Mehdi (Roham) Sheikholeslami 在他们的各自章节中，带来了很多实践观点和新鲜视角。感谢他们！

纵观我的学术生涯，我一直有幸拥有伟大的老师和导师。Ron Brand、Gulzar Haider、Jim Strutt、Livius Sherwood、Steve Tupper、Chuck Eastman、Irving Oppenheim、Steve Fenves、Art Westerberg、Mark Allstorm、John Dill 和 Tom Calvert，他们每个人都教授了我宝贵并重要的经验。而我很大程度上又是一位自学成才的作者（或者看起来是）。Chris Calson、Mikako Harada 和 Antony Radford 每个人都帮助我在各方面有所提高。

本书的基础是源于在西蒙弗雷泽大学中我的研究小组所进行的不间断的有关参数化设计模式项目的研究。没有 Yingjie (Victor) Chen、Maryam Maleki、Zhenyu (Cheryl) Qian 和 Rohan Sheikholeslami，就不会有任何一个模式，也就不会有本书的存在。特别是 Victor 容忍并满足了我持续不断地修改模式网站程序的要求。

通过多次交谈讨论、编写章节以及太多的邮件来往，Robert Aish 和 Axel Kilian 帮助我辨别出本书的重要主题和结构。我非常珍视他们提供的知识背景，尤其是我们关于参数化设计的许多不同观点。在审核本书的时候，Lars Hesselgren、Axel Kilian、Ramesh Krishnamurti、Volker、Makai Smith、Rudi Stouffs 和 Bige Tuncer 指出了很多错误和瑕疵（本来这些是我希望我已经更正的）。Diane Gromala 给出了关于设计和版面的必不可少的建议。Maureen Stone 锐化了多个图形工具。书中有数百张插图。Roham Sheikholeslami 从不依照规矩使用的符号开始，在扭曲表面上的视觉一致性这一令人恐怖的工作上给予了大量的帮助。Makai Smith、Volker Mueller 和 Bentley 小组的其余人员容忍了关于他们系统提出的很多问题和不停地唠叨。

思维需要磨炼。智能几何学组提供了这样的熔炉。当你的想法和解释

不起作用的时候，什么也比不上同一个房间中 200 个专业人士的指导。几年来，Maria Flodin 在 Bentley 小组非常出色地组织了很多事情——而我做不了 Maria 的工作，智能几何学组中的我们每个人都欠他的人情。

在 2004 年，Taylor & Francis 出版集团的 Caroline Mallinder 首先建议我出版此书。她温文尔雅的坚持使这个想法始终在我的视野里。我的编辑 Francesca Ford、Georgina Johnson 和 Jodie Tierney 在时间上和图形控制上给我提供了很大的宽容度。我希望我没有给他们回馈太多的令人头疼的问题。

我利用大量休假的时间来编写本书，在此也要感谢西蒙弗雷泽大学（SFU）交互艺术与技术学院提供的宝贵时间支持。SFU 的数学和计算机科学研究中心的跨学科研究部门，借给了我一个安静的办公室，在其中我可以躲去在 SFU 的繁杂工作。我的部门同事容忍我几个月的工作分心，在此我也要一并感谢他们的耐心。在 2009 年的暑假，Don 和 Donna Woodbury 借给了我他们的船屋来编写此书。海风和海浪的呼啸声激发了工作的热情和午后小睡的习惯。在 2009 年的秋天，我获得 Tee Sasada 奖资助到日本大阪大学（Osaka University）做访问学者。和蔼可亲的东道主 Kaga Atsuko 教授给了我比她需要做的更少的工作任务，所以我才能在那个环境优美的地方投入更多的精力完成本书。

我已经使我的家庭的忍耐力得到了提高。在我编写此书的时候，我已经成为一名隐士，忽略了围绕在我身边的太多的多彩生活。我的孩子一直告诫我，要成为最阳光的人们中的一员。我确信 Gwenda 希望她的丈夫从他的创作生活中走回到她的身边。我的狗狗 Minnie 也希望我能陪它多走一走。

本项工作部分得到了加拿大自然科学和工程研究委员会发明奖助金计划、Bentley 系统、MITACS 促进计划、加拿大设计研发网络和图形、动画及新媒体网络系统的核心网络卓越计划，还有 BCcampus 在线项目发展基金的大力支持。

的确，LATEX 同时引发了很多欢乐和绝望。没有它，我完成不了本书！我非常感谢以上所有这些对于本书的支持。

编者注

既非鱼又非鸟。

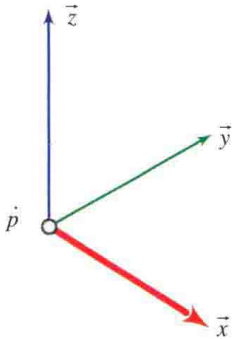
所有名为“……的元素”的书最好是关于实践的，这类书还必须准确又实用。我写了两个领域的内容。计算机辅助设计完全依赖于数学和计算。设计者用它来表达结果。我将两者放在一起进行了折中，而且自始至终都倾向于设计。

我使用不寻常的数学符号贯穿于全书。那些数学界的朋友看到后可能会奉承我，但我确实做了一个深思熟虑的选择。设计者一般不研究数学——他们看到它、使用它，然后走开。这些数学符号形象地描绘了它所表示的对象，端点 p 有一个点，矢量 $\vec{v}$ 有箭头，框架 ${}^A_B T$ 则表示了它的名字和所在的位置。作为一个非数学家，在既定的规范和明晰程度之间，我每次都选择后者。

很多应该出现的参考文献在本书中并未列出。再次申明，这是出于我自己的选择。那些能进入参考文献的书目，都通过了与和我这本书的一样的测试，清晰胜过完整，注释高于博学，实用强于高深。我的目标是注解，这意味着我经常省去很多在学术书籍中必要的细节。在做这些的时候，我选择提供最佳注解的材料。例如，有关曲线的一章使用的是最简单的等式，并且贯穿始终。这远远不完备，但愿那些省略的部分能够使几个核心理念得以突出。

这本书最长的一章阐释了作为参数化设计模式的元素。该章不含计算机代码——书本是代码不适当的媒介。而程序应是在线的，并且是可执行的。www.elementsofparametricdesign.com 网站为每种模式（及更多的）提供了工作代码。

世界上很多人分不清红、绿和蓝三种颜色。但计算机辅助设计系统自由地运用这些颜色表示方向和类型。为应对最常见的彩色视觉缺陷（绿色弱视和绿色色盲），我避免了同时使用红色和绿色。最主要的例外——坐标系（亦称框架）——它的 x 轴显示得稍粗些，并且在箭头及其连线末端有个缺口。



目 录

序

致谢

编者注

第1章 绪论..... 1

第2章 什么是参数化建模? 5

第3章 设计者如何使用参数? 17

3.1 传统的和参数化设计工具 17

3.2 新技能 18

3.2.1 构思数据流 18

3.2.2 划分区域逐步征服 21

3.2.3 命名 23

3.2.4 抽象思维 24

3.2.5 数学思考 27

3.2.6 算法思考 28

3.3 新策略 29

3.3.1 草图 29

3.3.2 抛弃代码 30

3.3.3 复制和修改 31

3.3.4 形式探索 33

3.3.5 使用数学和计算来理解设计 33

3.3.6 推迟决定 37

3.3.7 制作模块 39

3.3.8 帮助别人 40

3.3.9 升级工具箱 41

第4章	程序设计	43
4.1	数值	44
4.2	变量	44
4.3	表达式	45
4.4	语句	45
4.5	控制语句	46
4.6	函数	47
4.7	类型	48
4.8	对象、类和类函数	50
4.9	数据结构, 特别是列表和数组	51
4.10	本书惯例	53
4.11	不仅是写代码	54
4.12	结合参数化和算法思维	56
4.13	终端用户编程	59
第5章	全新大象馆	63
5.1	引言	63
5.2	捕捉设计意图	64
5.3	圆环体	65
5.4	结构生成器	66
5.5	玻璃生成器	68
5.6	本章小结	72
第6章	几何学	75
6.1	向量和点	80
6.1.1	点	80
6.1.2	向量	81
6.1.3	向量和点是不同的	81
6.1.4	向量运算	83
6.1.5	点的运算	86
6.1.6	复合向量	86
6.1.7	长度和距离	88
6.1.8	约束和自由向量	88

6.1.9	数积	89
6.1.10	向量在向量上的投影	90
6.1.11	逆向投影	91
6.2	二维直线	92
6.2.1	显式方程	92
6.2.2	隐式方程	92
6.2.3	直线运算符	93
6.2.4	正位点方程	94
6.2.5	参数方程	94
6.2.6	点到直线的投影	96
6.3	三维直线	97
6.4	平面	97
6.4.1	法向量	97
6.4.2	隐式方程	97
6.4.3	正位点方程	98
6.4.4	平面运算符	98
6.4.5	参数方程	99
6.4.6	点到平面的投影	99
6.5	坐标系 = 框架	100
6.5.1	框架生成：向量积	102
6.5.2	描绘框架	105
6.5.3	矩阵作为描述	107
6.5.4	矩阵作为映射	108
6.5.5	矩阵作为变换	110
6.6	几何学上重要的向量基底	110
6.7	构建向量基底	114
6.7.1	谁先发生？是平移还是旋转？	115
6.8	相交	117
6.8.1	两个对象能够相交吗？	118
6.8.2	在另一个对象上生成对象	122
6.8.3	使两个对象相交	123
6.8.4	适合对象的最近距离线	126
6.9	曲线	128
6.9.1	圆锥截面	129

6.9.2	当圆锥截面不够时	129
6.9.3	插值与近似值相对	131
6.9.4	线性插值=中间计算	132
6.9.5	参数化曲线表述	132
6.9.6	曲线关联对象	133
6.9.7	曲线连接的连续性	138
6.9.8	贝塞尔曲线——最简单的一种自由形态曲线···	140
6.9.9	阶数和次数	143
6.9.10	贝塞尔曲线属性	143
6.9.11	连接贝塞尔曲线	148
6.9.12	B 样条曲线	149
6.9.13	非均匀有理 B 样条曲线	160
6.9.14	规则四和五	161
6.10	参数曲面	162
第 7 章	几何表现	165
7.1	几何流动性：白木兰大厦	166
7.2	设计结合比特：南京南站	172
7.3	选择性设计思维	177
第 8 章	参数化设计模式	179
8.1	设计模式的结构	181
8.2	学习使用模式参数化建模	182
8.3	使用设计模式工作	182
8.4	编写设计模式	183
8.5	清晰的名称	184
8.6	控制器	185
8.7	工模	195
8.8	增量	201
8.9	点集	206
8.10	占位符	212
8.11	投影	217
8.12	反应器	224
8.13	统计器	230

8.14	选择器	239
8.15	映射	246
8.16	递归	254
8.17	单变量求解器	263
第 9 章	设计空间探索	269
9.1	引言	269
9.1.1	设计空间	270
9.1.2	选择和变化	271
9.2	Hysterical 空间	272
9.2.1	记录模式	272
9.2.2	Hysterical 状态模式	274
9.3	实例研究	276
9.4	描绘 Hysterical 空间	279
9.5	可视化 Hysterical 空间	279
9.6	结论	281
主要贡献者简介		282
参考文献		283
商标通告		289
索 引		290

设计在改变。参数化建模便是变化的一个标志。这并不是一个新观念，其实是计算机辅助设计的最初概念之一。伊文·萨瑟兰（Ivan Sutherland）1963年在其博士论文中已将参数变化放在了几何画板系统的中心位置。他预见到未来计算机辅助设计的一个最主要的特点，就是一种表示法能够适应创建环境的变化。当时的设备条件限制了萨瑟兰充分表达出他可能的发现，即参数化表示法能够深入改变设计工作本身。我相信，现在使用和制造这些系统的关键在于另一个更古老的观念。

人们进行设计。能够计划并实施改变我们周围的世界，是人区别于动物的关键点之一。语言是我们说的，设计和制造是我们做的。计算机只是这个古老行业中的一个新媒介。确实，它们是第一个真正有效的媒介物。作为常规的符号处理器，计算机可以提供无限种类的工具。通过精心编写和仔细维护，计算机可以用程序完成很多设计任务，但还不是全部。设计师们不断提出令人惊诧的新功能和形式。有时新作品体现着智慧，这是有限世界中的宝贵财富。参数化系统给设计业的人力资源带来了新生，同时也需要从业者具有新的能力以适应环境和应对意外事件，并探索一个理念所固有的多种可能性。

设计者为了掌握参数化需要哪些新知识和技能？我们怎样学习和使用它？这就是我们这本书所要讲述的。本书旨在帮助设计师们认识到参数化在工作中的潜力，它将参数系统的基本思想与来自几何及计算机编程的基本思想结合起来。

事实证明这些想法并不简单，至少对于那些有典型设计背景的人来说如此。掌握它们需要我们一部分变成设计师，一部分变成计算机科学家，一部分变成数学家。成为其中一个领域的专家已经够困难了，更不用说所有领域了。然而，一些优秀的和聪敏的（大部分是年轻的）设计师们正在做这件事——他们在开发新领域的过程中使自己的技能得到极大提高。这本书更主要的是关于一个思想，即模式是思考和应用参数化建模的良好工具。而模式本身是另一个老想法。一个模式是共性问题的通用解。具有建筑学领域背景的读者们将会发现这个定义相比该领域的常见定义更为适度

并更具限制性。那些具有软件领域背景的读者们可能对它更为熟悉。利用模式思考和工作可以帮助设计者更好地掌握参数模型所带来的新的复杂性。

模式基于实践产生作用。我不是一位建筑业者，所以我邀请了三位于年轻、有思想的从业者/研究人员，让他们展示一下他们及所在公司怎样利用参数模型来解决新奇复杂的设计问题。Onur Yüce Gün、Brady eter 和 Roham Skeikholeslami 用深思熟虑并精心制作的章节做出了回应。

我希望这本书的思想和见解能够鼓励和促进这个在人类的事业中称之为设计的，既易于理解又富有意义的活动。

写这本书的想法始于 2003 年，当时 Robert Aish 向我提议，新生代设计师和专家级设计师都需要对参数化设计进行更好地诠释。在 2005 年和 2006 年，Robert、Axel Kilian 和我为拟定出书几次碰面。我们的目标既宏伟又远大。事情就这样发生了，我们开始了每个人不同的编写方向。在我看来，最终将我们当初的雄心壮志都收进了这本书。或许它的侧重点及其所表达的见解将会使在参数化设计方面出现越来越多的研究、论著和计算机代码。

谁应该阅读这本书？

如果你是一位使用参数化设计的从业者，会发现有很多印刷版和网络版的指南和教程。这些资源主要提供为完成具体任务所需的指令列表或详细的逐个按键的命令。这可能帮你认识到工具能做什么，但不可能教你太多关于如何使它适应新的条件或扩展技能的知识。它们向你展示了如何处理小事情，但会把下一步要做的留给你的想象和能力。对于你来说，这本书提供了基本的几何学来表达你自己的模型和参数化系统特有的计算模型。主要提供一些可以采用并适于解决你手边问题的模式。使用此书的窍门是了解自己问题的模式，也就是说，学习如何将你的工作分成可以清晰明了解决的各个部分，然后将它们结合成一个整体。通过这些案例学习，可以让你看到别人如何将参数化思维和设计方法组织到完整的项目中的。

如果你是一位学习参数化设计的学生，你的目标是具备从业者的技艺。与从业者相关的每件事也都适用于你。设计只有通过多做才能学会。“Talkitecture”是一个贬义词，是为那些只说不做的人准备的。不要把它用在你身上。你需要做的还有很多，尤其是需要理解参数系统是如何工作的，它们的结构怎样使之运行以及用过的和正在使用的人们怎么用它来进行设计。此书的中间章节可能对你有特殊意义。

如果你是一名教师，你将发现其中的策略。我相信，我们的老师在设计的所有方面都会做到最好，从职业技能、技术和策略，一直到帮助我们

去更深入地思考。这本书主要是面向中间层面，目的在于将潜在能力与优秀设计所需要的更高层次认识联系起来。模式在这项工作中给予了有效帮助，至少对我教过的那数百人和与我在面向模式课程中一起任教的几十名教师来说是这样的。

如果你是一名计算机辅助设计系统的开发者，我相信你将发现一些现代系统中忽略的东西。无一例外，市场为这些系统提供了极好的性能，精巧的结构以及俏皮的人机界面。但由于需要的知识还无法获得，当前的系统在筹划、反思和发展个人及团队实践上起的作用很小。因为软件设计模式在软件工程方面已经取得了一定的成绩，或许这里的模式能够提供新方法解决组合问题，这也是系统规模在模型尺寸和人类使用的复杂性方面的核心问题。

几乎所有参数化模型用户都是编程的业余爱好者。我用“业余”一词字面的意思和表达赞美的意思，来形容那些在某一领域有兴趣和专长但缺少正规学习的人。业余和专业的程序员不只是在专业知识方面有区别。业余程序员倾向于编写与当前的任务相关的小程序，利用简单的数据结构来创建稀疏的文档。他们在编程工作中喜欢拷贝和改进他们的程序，通过对代码的查找、去除、测试和改进，直到能完成手边的任务。业余编程者只需要满足最低的要求，而将抽象化、普遍性和再利用问题留给“真正的程序员”。专业程序员可能会谴责这种做法，但无法改变他们。业余编程者写程序是出于完成任务的需要，而程序是一个很好的工具。任务是最重要的，工具只需够用即可。业余程序员编写了大部分我们用的程序。尽管几乎所有的编程工具都是为专业人士设计的，对于业余人士来说过于复杂。如果你跟大部分设计者一样，是一位业余程序员，你将会发现本书介绍的模式思想和技术能够使你完成你的编程任务。

这本书对业余编程人士来说，是一个业余的程序设计，这种说法是有讽刺意味的。本书中几乎所有的图片都是用 Generative Components 软件制作的，它本身就是一个参数化模型系统。与其依靠当时的主系统单调有限的图片输出能力，不如我自己编写一个代码输出系统，它将代码从参数化模型构建者输出到我为本书排版使用的 LATEX 程序包中的图表程序包。这个系统有三部分，第一部分是 DR，一个比 TikZ/PGF 更简单的图表程序包，它仅提供了我所需要的功能。DR 将函数调用转变为 TikZ/PGF 调用。第二部分是参数化模型构建者脚本语言中的代码，该代码用 DR 程序包来描绘本书的图片。第三部分是参数化模型构建者的 Excel 电子表格界面，因此所有的图表可用一个单独的 Excel 工作表来描述。在这个系统的外部，我编写了很多宏指令，主要是对页面布局的控制。这些有时显得凌乱的代码