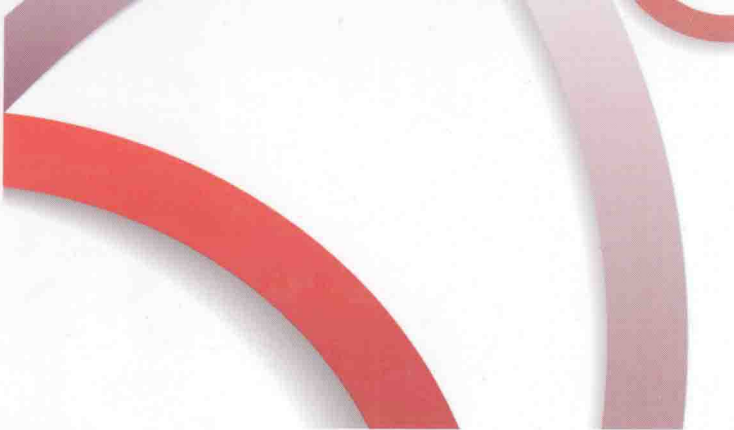




企业复杂性管理：

基于Agent建模与仿真的战略性解决方案

〔美〕Michael J.North Charles M.Macal 著
陆云波 王红丽 李永奎 徐书谦 译

MANAGING BUSINESS COMPLEXITY:

Discovering Strategic Solutions with Agent-Based
Modeling and Simulation



科学出版社

MANAGING BUSINESS COMPLEXITY:

Discovering Strategic Solutions with Agent-Based
Modeling and Simulation

企业复杂性管理：

基于 Agent 建模与仿真的战略性解决方案

〔美〕 Michael J. North Charles M. Macal 著

陆云波 王红丽 李永奎 徐书谦 译

本书得到国家自然科学基金重大项目（71090404/71090400）支持

科学出版社

北 京

Copyright © 2007 by Oxford University Press, Inc.

"MANAGING BUSINESS COMPLEXITY: DISCOVERING STRATEGIC SOLUTIONS WITH AGENT-BASED MODELING AND SIMULATION, FIRST EDITION" was originally published in English in 2007. This translation is published by arrangement with Oxford University Press.

原版于 2007 年以英语出版。与牛津大学出版社协定出版此翻译版。

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2014-4687

图书在版编目 (CIP) 数据

企业复杂性管理: 基于 Agent 建模与仿真的战略性解决方案 / (美) 诺斯 (Norris, M.), (美) 马卡 (Macal, C. M.) 著; 陆云武等译. —北京: 科学出版社, 2014

* 书名原文: Managing Business Complexity: Discovering Strategic Solutions with Agent-Based Modeling and Simulation

ISBN 978-7-03-041563-7

I. ①企… II. ①诺…②马…③陆… III. ①企业管理—管理信息系统—系统建模—研究 IV. ①F270.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 179463 号

责任编辑: 李楠 / 责任校对: 王艳利
责任印制: 阎磊 / 封面设计: 无极书装

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>

北京通州皇家印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014 年 8 月第 一 版 开本: 720×1000 B5

2014 年 8 月第一次印刷 印张: 24

字数: 483 000

定价: 96.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

献给我的妹妹 Cindy、父亲 John 以及母亲 Shirley

Michael North

献给我的双亲 Dorothy 和 Charlie

Charles Macal

译者序

一项颠覆性管理技术：基于 Agent 建模与仿真

计算机的诞生开启了一个时空界面，使人类世界从真实开始“穿越”进虚拟；而苹果和特斯拉代表的颠覆式精神首次在全世界层面被崇拜，预示着这场“穿越”已从“技术运动”进阶到“思想运动”，科技和文明的演进维度和速度在以指数增长。“失控”孕育惊喜的同时正演变为惊涛骇浪的“复杂性海洋”，管理者惊慌失措地发现在蜿蜒河流中可乘浪前行的“传统管理工具”淹没在那“暴风骤雨”的夜晚。

就这样突然间，诺基亚已然沦陷，黑莓奄奄一息，微软跌落神坛，苹果明天又在哪里？昨日微博刚辉煌，今日微信已漫野！那些浪潮之巅的明星也好，传统行业霸主也罢，未来 20 年谁能超脱于“重生洗礼”？可驾驭“动荡、无常、复杂和模糊”的“未来管理工具”又在哪呢？

科技想要什么？在这个维度里，她想驾驭商业复杂性，她正孕育着颠覆性的管理工具。当举世憧憬着大数据“航母”横空出世时，一艘艘计算机仿真“潜艇”早已悄然潜入物理复杂性的深海：原子弹在计算机中爆炸、人工生命已诞生、汽车在虚拟风洞中测试、摩天大楼在计算机中拔地而起……而今正演进为“基于 Agent 的建模与仿真”准备冲向商业复杂性的海洋，帮助管理者将过去和现在“降解”到计算机中，在“替身”上展开可控、可重复的实验去“洞见”未来，使管理决策从“经典”走向“量子”。

但这场管理技术的革命当前看似仅限于理论界层出不穷的学术论文，在实践界似乎没有激起“丁点浪花”。然而，在这“静默”得有点不寻常“假象”背后，巨头们却纷纷打造秘密“核潜艇”：美军将行为建模与仿真定位为未来 20 年十大战略之一，联合利华将基于 Agent 的消费者行为和品牌竞争仿真列为机密级研发项目，澳大利亚最大能源公司 Origin 近几年将组织仿真技术广泛应用于重大工程项目组织设计，IBM 管理咨询刚开始战略转型将仿真等高级分析技术列为战略核心……

再顶尖的管理技术也不可能正确无误地预见未来，经理们只需能比竞争对手

看得更早、更远一点，而这恰恰是基于 Agent 建模和仿真技术的“天赋”。不妨畅想：20 年后，绝大多数跨国公司都有一个部门名为“涌现决策部”，每当经理们遇到因众多微观因素交互造成复杂性而困惑时，第一反应就是向该部门寻求支援。

但现在还有很长的路要走，在绝大多数管理子领域 Agent 建模与仿真依旧是一种技术，还未演进为一个个可被现实管理者直接使用的“平民化”的傻瓜式管理工具。《企业复杂性管理：基于 Agent 建模与仿真的战略性解决方案》作为全球第一本系统阐述在现实商业世界里如何应用 Agent 建模与仿真思想、理论、方法和技术的书籍，无疑对这次革命具有深远的战略性影响。

译者在过去 10 年内致力于组织管理领域的 Agent 建模与仿真研究和实践，研发了全球领先的商业级组织建模与仿真平台 ProjectSim 和 OrgSim，被清华大学和同济大学等高校用于科研和教学，被 IBM 和 SRD 等国内外咨询公司用于定量推演和优化管理咨询方案。

最后，衷心地感谢参与翻译工作的研究生：钟婷婷，协助完成了第一稿；孙丽丽、陈英、陈臣，协助完成了第二、三稿；毛舒芳、翟翌，协助完成了第四稿；曾西、李泉芳、康志远，协助完成了第五、六稿。

陆云波

2014 年 8 月于同济大厦 A 楼

前言

为什么要写这本书？因为人们需要了解，自从关系数据库发明以后，基于 Agent（行为主体）的模型和仿真也随之出现，它是在商业仿真和建模领域最令人兴奋的和实际的发展之一。世界在以下两方面发生着变化：其一是解决商业问题的要求；其二是利用信息技术与计算机建模的能力。在要求方面的变化意味着企业面临的问题变得越来越复杂；在能力方面的变化意味着一直悬而未决的问题现在可以得到解决了。

这本书致力于两件事：①教您如何看待 Agent；②教您如何通过开发 Agent 建模和仿真的模型与其他 Agent 合作。如此一来，本书为您提供了一个 Agent 建模和仿真的词典，该词典中的词汇来自于许多通常不会被人们联系起来的领域。

我们相信，未来几乎所有的计算机模拟都将是基于 Agent 的模型。为什么？因为 Agent 模型可以以自然的方式表示业务问题，并且它与面向对象程序设计的主要计算模式极其相似。事实上，我们认为，未来很多优化模型也将是基于 Agent 的模型，主要是由于基于 Agent 的优化算法的灵活性以及其他解决实时优化问题的适用性。

这本书是为经理、分析师以及企业和政府的软件开发人员而写的。对 Agent 建模的概述感兴趣的读者应该阅读第 1、3、4、5、7 和 15 章；对更详细的讨论有兴趣的读者应该阅读所有章节；本身想要练习 Agent 建模的读者应阅读所有章节，并重复阅读第 8 章中描述的电子数据表模型。

这本书是我们为企业和政府社区项目开发的 Agent 建模的产物，它得益于我们组织过的基于 Agent 的建模会议和我们已开办的基于 Agent 的建模课程。

我们想尽可能感谢所有为这本书做出贡献的人。感谢我们各自的家庭，特别是感谢 Michael North 的妹妹 Cindy、父亲 John 和母亲 Shirley，感谢 Charles Macal 的妻子 Kathy。我们得感谢我们的同事，是他们一路帮助我们建模成功，特别是感谢 Charles Macal 的第一个建模老师 A. Alan B. Pritsker——一个真正的建模者的建模者。感谢所有我们在阿贡国家实验室的朋友，并特别感谢 Tom Wolsko，他富有远见和洞察力，以及我们的同胞阿贡 EMCAS 开发团队成员：Gale Boyd、Dick Cirillo、Guenter Conzelman、Vladimir Koritarov、Prakash Thimmapuram 和 Tom Ve-

selka。感谢我们 Repast 开发团队的合作者，包括 Mark Altaweel、Nick Collier、Tom Howe、Miles Parker、David Sallach、Pam Sydelko、Eric Tatara 和 Richie Vos。感谢圣塔菲研究所，尤其是 Susan Ballati、Shannon Larsen 和 Chris Wood 对组织的业务复杂性建模课程的支持，以及 SFI 商务网的供应链建模团队，其中包括 George Danner、Ed MacKerrow 和 Owen Densmore。感谢 Averill Law 最近对 Agent 建模和仿真与传统之间关系的讨论。我们也感谢牛津大学出版社团队，包括编辑 Martha Cooley、Frank Fusco 和 John Rauschenberg，管理编辑 Lisa Stallings，以及 Keyword 集团有限公司的复制编辑 Alan Hunt。

我们感谢以下多年来在 Agent 建模过程中为许多愉快和启发性的讨论做出贡献的人：Rob Axtell（乔治·梅森大学），Steve Bankes（演进逻辑公司），Roger Burkhart（迪尔公司），Kathleen Carley（卡内基·梅隆大学），John Casti（维也纳理工大学），Lars-Erik Cederman（苏黎世联邦理工学院），Ali Cinar（伊利诺斯理工学院），Claudio Cioffi-Revilla（乔治·梅森大学），Nosh Contractor（伊利诺伊大学尚贝恩分校），Harvey Drucker（阿贡国家实验室），Thierry Emonet（芝加哥大学），Josh Epstein（布鲁金斯学会），Nigel Gilbert（萨里大学），Bryan Gross（MPSI 系统公司），Laszlo Gulyas（AITIA 公司），Peter Hedstr（纳菲尔德大学），Cynthia Hood（伊利诺斯理工学院），Mark Kimura（MPSI 系统公司），Michael Macy（康奈尔大学），John Padgett（芝加哥大学），Scott Page（密歇根大学），Randy Picker（芝加哥大学），Bill Rand（西北大学），Bob Rosner（阿贡国家实验室），Keith Sawyer（圣·路易斯华盛顿大学），John Sterman（麻省理工学院），Fouad Teymour（伊利诺斯理工学院），Seth Tisue（西北大学），Uri Wilensky（西北大学），和 Peyton Young（约翰·霍普金斯大学）。

Michael J. North

Charles M. Macal

目 录

第 1 章 面临的挑战	1
1.1 为什么要写这本书?	1
1.2 Agent 的用户、功能、应用领域、适用情况、应用目的和应用方式	1
1.3 为什么是现在需要 ABMS?	2
1.4 ABMS 的基础	4
1.5 为什么 ABMS 是有用的、适用的以及它是如何被应用的?	5
1.6 ABMS 的工作原理概述	8
1.7 增量式探索、设计和开发	8
1.8 本书结构	8
1.9 案例研究	9
注释	10
参考文献	10
第 2 章 ABMS 范式	11
2.1 局部构成整体	11
2.2 两类基本模型	11
2.3 非决定性	14
2.4 创新的周期	15
2.5 非确定性的其他观点	17
2.6 行为建模的选择	19
2.7 模型适用范围	20
2.8 系统大于部分之和	25
2.9 小结	26
注释	26
参考文献	26
第 3 章 Agent 介绍	28
3.1 Agent 概述	28

3.2 Agent 属性	29
3.3 Agent 行为	32
3.4 简单 Agent 或原型 Agent	33
3.5 复杂 Agent	37
3.6 一个市场案例	49
3.7 Agent 的发现、设计与发展	51
注释	52
参考文献	52
第 4 章 ABMS 的起源	54
4.1 ABMS 的应用领域	54
4.2 历史根源	54
4.3 复杂性科学	56
4.4 ABMS 技术的传播	68
4.5 plectics 评述	69
参考文献	70
第 5 章 ABMS 的角色	74
5.1 宏观描述商业应用中的建模与仿真	75
5.2 供应链模型案例	78
5.3 建模方法纵览	82
5.4 何时应用 Agent?	113
5.5 混合建模方法	114
5.6 小结	115
注释	116
参考文献	116
第 6 章 探索 Agent 与 Agent 行为	120
6.1 行为决定 Agent	120
6.2 社会性 Agent	120
6.3 行为理论的案例	121
6.4 Agent 的多样性	126
6.5 其他 Agent	126
6.6 多 Agent 系统	126
6.7 人工智能	126
6.8 探索 Agent	127
6.9 探索 Agent 行为	128
6.10 一个市场案例	139

6.11 行动	141
参考文献	141
第7章 办公室 ABMS	144
7.1 在办公室中	144
7.2 渐进式开发	144
7.3 原型开发	145
7.4 ABMS 环境	145
7.5 四种模型增长途径	146
7.6 平衡变化	147
7.7 回到问题中来	151
7.8 办公室 ABMS 架构	152
7.9 办公室 ABMS 连续系统	154
7.10 案例	158
7.11 回到办公室	160
注释	160
参考文献	160
第8章 如何进行桌面 ABMS	162
8.1 桌面 ABMS	162
8.2 Agent 电子数据表	163
8.3 专用 ABMS 原型设计环境	198
8.4 一个市场案例	210
8.5 小结	221
注释	221
参考文献	221
第9章 如何操作参与式 ABMS	223
9.1 个人与现场	223
9.2 所有工作的开端	223
9.3 优点与缺点	224
9.4 培养强烈的感知	227
9.5 发现真相	228
9.6 细节, 细节, 还是细节!	228
9.7 一个市场案例	233
9.8 小结	236
注释	236
参考文献	236

第 10 章 如何操作大规模 ABMS	238
10.1 始于桌面	238
10.2 特征	238
10.3 现有工具包	252
10.4 大规模建模周期	255
10.5 设计大规模应用模型	256
10.6 Agent 模式与错误模式	263
10.7 案例	266
10.8 小结	267
注释	268
参考文献	268
第 11 章 ABMS 校核与验证	271
11.1 V&V 综述	271
11.2 校核	272
11.3 验证	278
11.4 V&V 的相关方面	285
11.5 小结	287
参考文献	287
第 12 章 可视化数据采集与清理方法	289
12.1 美味佳肴	289
12.2 输入信息金字塔	289
12.3 模型输入	294
12.4 棉花糖和篝火的故事	295
12.5 筹划时间变化	296
12.6 数据质量	297
12.7 成功的诀窍	305
12.8 晚餐准备好了	311
12.9 一个市场案例	317
12.10 小结	319
参考文献	319
第 13 章 理解并呈现 ABMS 结果	322
13.1 分析 ABMS 结果	322
13.2 呈现 ABMS 结果	340
13.3 七个步骤	344
注释	346

参考文献	346
第 14 章 ABMS 项目管理	347
14.1 ABMS 的企业功能	347
14.2 基本原理	348
14.3 项目目标	348
14.4 阻止任务渐变	349
14.5 倡导者	350
14.6 领域技能金字塔	350
14.7 ABMS 项目架构	351
14.8 ABMS 的商业流程	359
14.9 发展	364
参考文献	365
第 15 章 迎接挑战	366
15.1 Agent 的用户、功能、应用领域、适用情况、应用目的和应用方式	366
15.2 有用性、适用性及其应用	367

面临的挑战

1.1 为什么要写这本书？

本书致力于向读者介绍一种新的建模技术——基于 Agent 的建模和仿真 (agent-based model and simulation, ABMS)。它是继关系型数据库创立之后，在商业建模研究领域中最具实用性的技术之一。ABMS 开创了一种理解数据和生成信息的新途径：帮助企业展望未来，并分析和预测企业决策对其市场和行业可能产生的影响，这一技术势必会对企业在众多领域利用计算机技术进行决策产生深远影响。

本书有两个目的：第一，帮助读者理解什么是 ABMS，即理解什么是 Agent 以及 Agent 之间的交互作用，让读者了解 ABMS 的特征和优点，了解 Agent 仿真的价值；第二，指导读者操作 ABMS，构建 Agent 的仿真模型。

本书是一个完整的 ABMS 资源库，无论读者是否具有建模的相关知识都可以阅读。另外，本书也是第一本全面收录 ABMS 的商业应用书籍。

1.2 Agent 的用户、功能、应用领域、适用情况、应用目的和应用方式

本书将介绍何人、何事、何地、何时、为何以及如何运用 Agent。

(1) 谁需要了解并运用 Agent 建模？谁需要构建 Agent 模型？谁需要获得 Agent 模型所生成的信息？Agent 建模技术成功运用的关键是了解其相关用

户群。

(2) Agent 是什么？哪些是标准建模方法难以做到，但 Agent 能实现的？Agent 建模方法是一种符合人类思考与理解系统习惯的方法，而这一点在过去几乎是无法实现的。

(3) Agent 可应用于哪些领域？ABMS 可解决哪些日常商业问题？Agent 建模可运用的领域日益增多，我们无需为其将来是否能够广泛应用而犯愁。

(4) 何时需要 Agent？何时需要应用 Agent 建模与仿真？越来越多的研究证明：相比传统建模技术，Agent 建模技术更具优越性，如能提出新的见解、解决长期问题等。

(5) 为什么需要 Agent？为什么人们要应用 Agent 建模？Agent 建模的核心和出发点是 Agent 和 Agent 视角，它提供了一种与人类思维习惯相符的方式来理解 Agent 行为以及系统的整体行为。我们相信，未来所有的计算机仿真都将是基于 Agent 的。因为不仅 Agent 与人类自然思维习惯一致，而且 Agent 模型与占主导地位的面对象编程 (object-oriented programming, OOP) 范式极其相似。

(6) 如何应用 Agent？我们该如何理解 Agent，如何构建 Agent 模型？每一次成功建模都能够快速积累经验。

如果您听说过 Agent 建模或准备展开 Agent 建模，本书会将为您就以上这些关键性问题提供解答。

1.3 为什么是现在需要 ABMS?

为什么是现在需要 ABMS？说服力理由有很多，主要原因在于我们的世界正变得日益复杂，与此同时所需分析的系统也变得越来越复杂，这就要求计划和管理工具必须能有效捕捉这些涌现的复杂性，但传统工具已不足以胜任此类复杂性的分析。我们还须全方位地捕捉潜在的复杂性，例如，数据库中存储的数据粒度越来越精细，如何从这些数据中获取竞争优势是迫切的。另外，许多企业以及政府领导者正发现他们不得不依赖的计划和管理工具缺乏稳健性。合理应用 Agent 建模有助于解决这些难题。本书将为您介绍如何应用 Agent 模型。

世界越来越具有挑战性，因为需要管理的系统变得越来越复杂。许多企业正面临资源短缺以及组织结构复杂化等问题。对于它们来说，以下情况都非常常见 (Banham, 2002)。

直至 2001 年 9 月，计算机芯片制造商赛灵思公司已经连续四次错误预计季度盈利额。当然，该公司也开始意识到这其中存在着严重错误。虽然已经竭尽所

能,但是该公司仍然不能准确预计客户需求……这导致赛灵思公司的计划和预算工作陷入困境。“这就像飞机在黑夜中飞行,又没有指令”,赛灵思公司首席执行官 Kris Chellam 表示。

世界所呈现出的高度复杂性表现在许多方面,包括越来越零散的消费市场,交织日渐密切的产业供应链,联系日渐紧密的交通网络,以及相互依赖越来越紧密的基础设施(如电力、天然气、汽油、水力、电信等)(Anderson, 2000)。这些复杂性是由新事物的发展所造成的,包括全球化、库存缩减、外包产业发展、信息技术深化、发展横向一体化、产品复杂化及消费者需求升级等。决策者在制定决策时不仅需要全面考虑这些新变化可能带来的后果,同时还要提高决策的效率。

世界的日益复杂性只是现代企业所面临的挑战之一。虽然许多系统越来越复杂,但是复杂性本身并没有新的变化。有些系统一直以来都非常复杂(Sterman, 1989),市场就是一个很好的案例,尤其是那些不同于经济学经典市场模型(如完全竞争市场、完全垄断市场、寡头垄断市场等)的市场;社会系统也是一个案例,尤其是企业组织和政府组织内部的社会系统。在分析和研究此类系统时,传统工具会显得有些“力不从心”,为了弥补这一点,人们开始进行大胆假设。

大胆假设能够简化系统,以便运用传统工具进行分析。但是,采用假设的方法会降低系统的精细程度。经济学中有一个经典假设就是:公开市场上所有的商品都完全无差异。在该假设基础上,再进一步假设当市场上存在无数竞争者时,该市场为完全竞争市场(McLean and Padgett, 1997)。该理想模型可用于研究市场的长期效益,但是细节问题该如何处理?例如,如何研究对最终结果造成影响而又时时变化的因素?更有甚者,当市场持续受到创新等因素影响,导致无法准确做出长期预测时,该如何处理?这样的案例还有很多。为了简化组织模型,可以大胆假设企业员工会严格遵守企业结构或者商业流程规定(Paul et al., 1999)。但是,对于现实中企业员工间的非正式沟通该如何处理?ABMS 有助于冲破这些假设的限制。

除了简化模型,大胆假设也用于弥补数据不足。在过去的研究中,这是唯一能够解决数据缺失的方法。值得庆幸的是,近年来数据采集整理工作有了突破性改进,所采集数据越来越详尽,生成的结果数据按照消费者、员工或者其他条目分类存储。这种“微观数据”能够支持日益精细的 Agent“微观仿真”。

许多企业和政府组织领导者发现他们的计划和管理工具缺乏稳健性,因为这些工具不能及时有效地发挥预警功能(Banham, 2002)。谁没有被出乎意料的结果所惊吓过?谁不是以事后诸葛之明来处理这些复杂情况?但如何才能将事后诸葛之明变成先见之明呢?Agent 模型就能做到这一点,接下来本书会有详细介绍。

由于规划工具的缺陷，许多领导发现越来越难以将他们丰富的经验转化为战略性解决方案。需要考虑的结果越多，决策时全面考虑所有可能性就变得愈加困难。而且，市场结构调整、组织结构重组、企业流程再造和创新技术所带来的新局面令过去的经验很难有效指导现在，合理应用 Agent 模型有助于将过去经验转化为对新局面的深刻洞察。本书会对 Agent 模型如何应用于现实问题做出详细解释。

为什么领导者常常感到无所适从？我们打一个简单的比方。想象一下我们在夜晚拜访美国广袤平原上的一个小镇，假设小镇正受洪水侵袭，水势汹涌，逃跑已经来不及了，最好的办法是找到并待在小镇地势最高的地方。但是，哪里是最高的地方？教堂的尖顶看起来不错。在大多数这样的小镇，教堂的尖顶一般是最高的地方。但是那里相当陡峭，如果风雨交加怎么办？站在尖顶上也会很容易跌入洪水中，也许有一个更好的地方。

那么，待在那种平坦宽阔的教堂屋顶上怎么样？这个地方通常也能达到教堂尖顶的高度，并且比小镇里其他的地方都高。而且由于比较平坦宽敞，暴风雨造成的危害也不大。因此，这可以算是一个安全的地方。

事实上，就像上面那个假想的情况一样，许多企业正处在危机四伏的教堂尖顶上，可能当下是具有优势的，可是稍有左右摇摆就会跌入灾难的深渊。这种企业中的领导在决策时常常采取临时性的非正式决策方式，依赖历史数据或者呆板的优化技术。不幸的是，这些决策方法并不能找到稳健的方案，因此必须寻找一种能够引导企业到达上文中那个平坦宽敞的教堂屋顶的决策方法。

ABMS 是一种能有效捕捉企业或政府复杂系统行为的新工具。Agent 建模从零开始捕捉组织行为：首先制定组织内个体成员的行为规则，其次创建基于 Agent 的模型，最后运用该模型涌现的组织行为。这种建模方法能够帮助组织将对个人行为理解转化为对整个组织系统层面行为的理解。也就是说，Agent 模型能展现个人行为与整体绩效之间的关联。组织运用 Agent 模型能够了解如何有效组合个人行为以期获得积极效益或者避免消极结果，包括预测未来行为的所有可能的潜在收益。

1.4 ABMS 的基础

ABMS 是建立在许多成功建模技术之上的，如离散事件仿真(discrete-event simulation, DES)以及面向对象编程。Agent 建模尽可能融合各技术来更直接更高效地达到目标。离散事件仿真为协调个体构件或 Agent 之间的交互提供一种确定的机制；面向对象编程为基于行为的 Agent 架构提供有效的框架。这两种