

ROBOTIC FUTURES

建筑机器人建造

Philip F. Yuan, Achim Menges, Neil Leach
袁 烽, (德)阿希姆·门格斯, (英)尼尔·里奇 等著



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

ROBOTIC FUTURES

建筑机器人建造

Philip F. Yuan, Achim Menges, Neil Leach
袁 烽, (德)阿希姆·门格斯, (英)尼尔·里奇 等著



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

图书在版编目 (C I P) 数据

建筑机器人建造 : 汉文、英文 /

袁烽, (德) 门格斯 (Menges,A.), (英) 里奇 (Leach,N.) 等著.

-- 上海 : 同济大学出版社, 2015.6 (数字设计前沿系列丛书 / 袁烽, 江岱主编)

ISBN 978-7-5608-5845-6

I. ①建... II. ①袁... ②门... ③里... III. ①建筑机

器人 - 制作 - 汉、英 IV. ①TP242.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第108181号

建筑机器人建造 Robotic Futures

袁 烽 (德) 阿希姆 · 门格斯 (英) 尼尔 · 里奇
Philip F. Yuan Achim Menges Neil Leach



责任编辑 江 岱
助理编辑 武 蔚
责任校对 徐春莲
装帧设计 袁佳麟, 4aTEAM (www.4ateam.com)

出版发行 同济大学出版社
(www.tongjipress.com.cn 地址 : 上海市四平路1239号 邮编 : 200092 电话 : 021-65982473)

经 销 全国各地新华书店
印 刷 上海盛隆印务有限公司
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 13.25
印 数 1-2100
字 数 331000
版 次 2015年6月第1版 2015年6月第1次印刷
书 号 ISBN 978-7-5608-5845-6
定 价 100.00元

本书若有印刷质量问题, 请向本社发行部调换
版权所有 侵权必究

CONTENTS 目录

PREFACE 绪论

- 10 Confluence of High Performance-based Architecture and Robotic Fabrication Industries
/ Philip F. Yuan
基于机器人建造的高性能建筑未来
/ 袁烽
- 17 Coalescences of Machine and Material Computation
Rethinking Computational Design and Robotic Fabrication through a Morphogenetic Approach
/ Achim Menges
机器生产与材料计算的融合：从形态生成法重新思考计算设计与机器人建造
/ 阿希姆·门格斯
- 23 Arts-based Robotic Applications through Dynamic Interfaces
From Fabrication to Performance in the Creative Industry
/ Johannes Braumann, Sigrid Brell-Cokcan
通过动态界面实现的机器人艺术应用：创新产业中从建造到表演
/ 约翰尼斯·布朗曼, 西格丽德·布瑞尔-考根

METHODOLOGY 方法研究

- 32 A New Building Culture
Towards a Radical Confrontation between Data and Physics
Jan Willmann, Fabio Gramazio, Matthias Kohler / Gramazio Kohler Research, ETH Zurich
一种新的建筑文化：走向数据和物理间的激进对抗
简·威尔曼, 法比奥·格拉马齐奥, 马蒂亚斯·科勒 / 苏黎世联邦理工学院“格拉马齐奥与科勒”研究中心
- 44 A Creative Platform
Curime Batliner, Michael Jake Newsum, M. Casey Rehm / Southern California Institute of Architecture (SCI-Arc)
一个创新的平台
克瑞姆·巴特莱纳, 迈克尔·杰克·纽斯曼, M. 凯西·莱姆 / 美国南加州建筑学院
- 54 Explorative Design and Fabrication Strategies for Fibrous Morphologies in Architecture
Moritz Dörstelmann, Marshall Prado, Achim Menges / ICD Institute for Computational Design, University of Stuttgart
建筑纤维形态学的探索性设计与建造策略
莫瑞斯·多斯特曼, 马歇尔·普拉多, 阿希姆·门格斯 / 德国斯图加特大学计算设计学院
- 66 New Craftsmanship Using Traditional Materials
Philip F. Yuan, Hyde Meng, Zhang Liming / Digital Design Research Center, CAUP, Tongji University
传统材料的数字新工艺
袁烽, 孟浩, 张立名 / 同济大学建筑与城市规划学院数字设计研究中心
- 74 Machines for Rent
Francois Roche, Camille Lacadee / New-Territories
出租机器
弗朗斯瓦·罗氏, 卡米尔·拉卡迪 / 新领域事务所

CASE STUDIES 案例分析

- 88 Robotic Stereotomy
The MIT Sean Collier Memorial
J. Meejin Yoon, Eric Höweler / Höweler + Yoon Architecture
机器人切石法：MIT肖恩·科利尔纪念碑的建造
尹美真，埃里克·霍威尔 / Höweler + Yoon建筑事务所
- 96 La Voûte de LeFevre
A Variable-Volume Compression-Only Vault
Brandon Clifford, Wes McGee / Matter Design Studio
LeFevre拱：一个可变体量的仅受压拱
布莱登·克利福德，威尔斯·麦克盖 / Matter设计工作室
- 106 Shadow Lines
An Experiment in Simulated and Speculative Manufacturing
Bob Sheil, Thomas Pearce, Grigor Grigorov / The Bartlett School of Architecture, UCL
阴影线：一种模拟和推测性建造的试验
鲍勃·谢尔，托马斯·皮尔斯，格里格·格里戈罗夫 / 伦敦大学学院Bartlett建筑学校
- 112 Clay Robotics
Kwang Guan Lee, Sun Jiashuang / The Bartlett School of Architecture, UCL
机器人粘土打印
康源，孙佳爽 / 伦敦大学学院Bartlett建筑学校
- 118 Landesgartenschau Exhibition Hall
Robotically Fabricated Lightweight Timber Shell
Tobias Schwinn, Oliver Krieg, Achim Menges / ICD Institute for Computational Design,
University of Stuttgart
Landesgartenschau 展馆：机器人建造的轻型木壳结构
托比斯·斯科文，奥利弗·克里格，阿希姆·门格斯 / 德国斯图加特大学计算设计学院
- 124 Woven Clay
Experiments in Robotic Clay Deposition
Jared Friedman, Heamin Kim, Olga Mesa / Harvard Graduate School of Design
编织粘土：在机器人粘土沉淀上的实验
贾瑞德·弗莱德曼，赫敏·金，奥尔加·麦莎 / 哈佛大学设计研究生院
- 132 Reverse Rafter
Structural Performance Simulation Based On Wood Tectonics
Philip F. Yuan, Chai Hua / CAUP, Tongji University
反转檐椽：传统木构的结构性能模拟
袁烽，柴华 / 同济大学建筑与城市规划学院
- 142 Unfolding Topology
Bandsawn Bands
Ryan Luke Johns, Nicholas Foley / Greyshe
展开的拓扑结构：电锯木条椅的制作
瑞安·卢克·约翰斯，尼古拉斯·弗利 / Greyshe设计事务所

PROJECTS OVERVIEW 项目概述

- 150 Composite Wing & Brass Swarm
Roland Snooks / Studio Roland Snooks & Kokkugia
复合翼与黄铜群
罗兰德·斯怒克斯 / 罗兰德·斯怒克斯工作室 & Kokkugia事务所
- 156 Robotic Lattice Smock
Andrew Saunders (RPI) & Gregory Epps (RoboFold)
机器人点格褶裥
安德鲁·桑德斯 (美国伦斯勒理工学院) & 格里高利·艾比思 (RoboFold公司)
- 160 Design of Robotic Fabricated High Rises
Gramazio Kohler Research, ETH Zurich & SEC Future Cities Laboratory (FCL)
机器人建造高层建筑设计
苏黎世联邦理工学院“格拉马齐奥与科勒”研究中心 & 未来城市实验室
- 166 Mesh Mould
Gramazio Kohler Research, ETH Zurich & SEC Future Cities Laboratory (FCL)
网格模型
苏黎世联邦理工学院“格拉马齐奥与科勒”研究中心 & 未来城市实验室
- 170 Automaton
Designing Intelligence
Robothouse, Southern California Institute of Architecture (SCI-Arc)
自动：设计智能化
美国南加州建筑学院机器人实验室
- 176 Gesture translation & Light Object
Robothouse, Southern California Institute of Architecture (SCI-Arc)
手势转译与光物体
美国南加州建筑学院机器人实验室
- 180 Domain
Research on Design and Robotic Manufacturing in the Field of Double Curved Geometries
Sandra Manninger, Matias del Campo / Taubman College, University of Michigan
领域：双曲几何领域设计与机器人制造研究
马宁格, 马德朴 / 美国密歇根大学Taubman建筑与城市规划学院
- 186 Robotic Building
Hypebody, TUDelft
机器人建筑
荷兰戴尔夫特大学Hypebody研究小组
- 192 The Exploration on the Teaching of Robotic Fabrication and Design
Yu Lei, Xu Weiguo / School of Architecture, Tsinghua University
在机器人建造设计教学上的尝试
于雷, 徐卫国 / 清华大学建筑学院

198 Spatial 6D Biomimetic Printing

DigitalFUTURE Shanghai Summer Workshop, Tongji University

空间仿生结构6D打印

同济大学上海“数字未来”暑期工作坊

202 Edge Chair

Digital Design Research Center (DDRC), CAUP, Tongji University

边锋椅

同济大学建筑与城市规划学院数字设计研究中心

206 Topological Surface

Digital Design Research Center (DDRC), CAUP, Tongji University

拓扑表皮

同济大学建筑与城市规划学院数字设计研究中心

BIOGRAPHIES 作者简介

ROBOTIC FUTURES

建筑机器人建造

Philip F. Yuan, Achim Menges, Neil Leach
袁 烽, (德)阿希姆·门格斯, (英)尼尔·里奇 等著



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

ROBOTIC FUTURES

机器人未来建筑

2015年度教育部重点实验室自主与开放课题
支持项目



支持单位
Supported by



同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司
TONGJI ARCHITECTURAL DESIGN (GROUP) CO.,LTD.

DADA 数字建筑
设计专业委员会

本研究得到同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司重点项目研发基金, 高密度人居环境生态与节能教育部重点实验室自主与开放课题(课题编号: 2015KY08)的支持。

Support from key project research funding of Tongji Architectural Design (Group) Co., Ltd. and Key Laboratory of Ecology and Energy-saving Study of Dense Habitat(Tongji University),Ministry of Education . (Grant No.2015KY08) is acknowledged.

INTRODUCTION

介绍

机器人建造在当今的建筑行业的发展中扮演了重要的角色，特别是随着工业4.0时代的到来，基于工业机器人的数字加工模拟和针对不同建筑材料定制化的工具设计，使工厂在大规模生产中经济地制造非单一的建筑预制构件成为可能。在这一新的时代背景下，数字设计建造工具赋予了建筑师更广阔的发挥想象力的空间，并可以亲身投入到建造的流程中。而建筑师对于材料的应用，也从现在被动地接受形态向主动地生产形态发展。这种材料应用的更新手段对于传统建筑设计的颠覆，而所有的这一切信息都将贯穿于前期的计算设计到后期的机器人建造项目的全过程中。机器人建造除了在实体建筑的加工和建造方面，还在艺术及设计创新领域得到了一定的发展，通过人机交互技术的开发，智能机器人走入日常生活似乎已不再遥远。

本书旨在通过对该领域最新发展动态的纵览，一窥机器人建造对当代建筑实践和艺术设计创新的影响。就目前来看，对于这一领域的探索还局限在世界各大顶尖建筑院校和拥有双重身份的学院派建筑师上，所以要使这一技术全面融入建筑业中，我们还有很长的一段路要走。未来的建筑业将会是什么样？我们并不能给出确切的答案，但本书的这些撰稿人将为我们带来诱人的一瞥——带领我们窥探即将在建筑业中成为常态的材料研究与建造技术。

本书是“数字化设计前沿”系列丛书中的一本。“数字化设计前沿”系列丛书旨在描绘数字技术对建筑学科的影响。2012年，系列丛书中的最初两本——《建筑数字化建造》与《建筑数字化编程》，在袁烽与尼尔·里奇的主编下，以双语形式在同济大学出版社出版。2013年，作为该系列的第三本书作《探访中国数字建筑设计工作营》出版。

我们衷心感谢本书的撰稿人和同济大学、同济大学出版社所作出的贡献；同时，我们衷心感谢袁佳麟的汇编和排版工作，以及黄舒怡、张立名、肖彤、柴华在编译过程中的大力协助。

袁烽，阿希姆·门格斯，尼尔·里奇

Robotic fabrication is beginning to play a major role in the construction industry. Especially with the coming of Industry 4.0 Era, Digital fabrication involving the use of industrial robots and customized design tools for different materials offers the possibility of producing unique pre-fabricated building components within a reasonable price. Digital design and fabrication tools give architects a wider scope for their imagination, and allow them to be personally involved in the fabrication process. The approach towards materials has also developed so that they become the active generators of form rather than simply the passive receptors of shape making. This new method of material application is an improvement on traditional design. All these factors will play a role throughout the whole process of the project, from the early computational design through to the final robotic fabrication. Robotic fabrication has also been developed in art, design and other creative industries. As man-machine interaction develops, so the intelligent robot will come to play an important role in daily life in the not so distant future.

This volume seeks to offer an overview of the impact of robotic fabrication technologies on contemporary architectural practice and design. So far the exploration of this field has been limited largely to the academic environment. There is still a long way to go before these technologies are fully integrated in the construction industry. What will the future of construction look like? We cannot know for sure, but the contributions to this volume offer us a tantalizing glimpse of the kind of material investigations and fabrication techniques that look set to become commonplace in the construction industry.

This volume is part of a series of publications, DigitalFUTURE, that charts the impact of digital technologies on the discipline of architecture. In 2012 the first two books in this series, *Fabricating the Future* and *Scripting the Future*, were edited by Philip Yuan and Neil Leach, and published by Tongji University Press as bilingual editions. In 2013 a further book, *Digital Workshops in China*, was published in the same series.

The editors would like to thank the authors of the articles in this volume for their contributions, together with Tongji University and Tongji University Press. They are also thankful to Crisie Yuan for helping to compile this volume and to Shuyi Huang, Lim Zhang, Xiao Tong and Chai Hua for their further assistance with translation.

Philip F. Yuan, Achim Menges, Neil Leach

CONTENTS 目录

PREFACE 绪论

- 10 Confluence of High Performance-based Architecture and Robotic Fabrication Industries
/ Philip F. Yuan
基于机器人建造的高性能建筑未来
/ 袁烽
- 17 Coalescences of Machine and Material Computation
Rethinking Computational Design and Robotic Fabrication through a Morphogenetic Approach
/ Achim Menges
机器生产与材料计算的融合：从形态生成法重新思考计算设计与机器人建造
/ 阿希姆·门格斯
- 23 Arts-based Robotic Applications through Dynamic Interfaces
From Fabrication to Performance in the Creative Industry
/ Johannes Braumann, Sigrid Brell-Cokcan
通过动态界面实现的机器人艺术应用：创新产业中从建造到表演
/ 约翰尼斯·布朗曼, 西格丽德·布瑞尔-考根

METHODOLOGY 方法研究

- 32 A New Building Culture
Towards a Radical Confrontation between Data and Physics
Jan Willmann, Fabio Gramazio, Matthias Kohler / Gramazio Kohler Research, ETH Zurich
一种新的建筑文化：走向数据和物理间的激进对抗
简·威尔曼, 法比奥·格拉马齐奥, 马蒂亚斯·科勒 / 苏黎世联邦理工学院“格拉马齐奥与科勒”研究中心
- 44 A Creative Platform
Curime Batliner, Michael Jake Newsum, M. Casey Rehm / Southern California Institute of Architecture (SCI-Arc)
一个创新的平台
克瑞姆·巴特莱纳, 迈克尔·杰克·纽斯曼, M. 凯西·莱姆 / 美国南加州建筑学院
- 54 Explorative Design and Fabrication Strategies for Fibrous Morphologies in Architecture
Moritz Dörstelmann, Marshall Prado, Achim Menges / ICD Institute for Computational Design, University of Stuttgart
建筑纤维形态学的探索性设计与建造策略
莫瑞斯·多斯特曼, 马歇尔·普拉多, 阿希姆·门格斯 / 德国斯图加特大学计算设计学院
- 66 New Craftsmanship Using Traditional Materials
Philip F. Yuan, Hyde Meng, Zhang Liming / Digital Design Research Center, CAUP, Tongji University
传统材料的数字新工艺
袁烽, 孟浩, 张立名 / 同济大学建筑与城市规划学院数字设计研究中心
- 74 Machines for Rent
Francois Roche, Camille Lacadee / New-Territories
出租机器
弗朗斯瓦·罗氏, 卡米尔·拉卡迪 / 新领域事务所

CASE STUDIES 案例分析

- 88 Robotic Stereotomy
The MIT Sean Collier Memorial
J. Meejin Yoon, Eric Höweler / Höweler + Yoon Architecture
机器人切石法：MIT肖恩·科利尔纪念碑的建造
尹美真，埃里克·霍威尔 / Höweler + Yoon建筑事务所
- 96 La Voûte de LeFevre
A Variable-Volume Compression-Only Vault
Brandon Clifford, Wes McGee / Matter Design Studio
LeFevre拱：一个可变量体的仅受压拱
布莱登·克利福德，威尔斯·麦克盖 / Matter设计工作室
- 106 Shadow Lines
An Experiment in Simulated and Speculative Manufacturing
Bob Sheil, Thomas Pearce, Grigor Grigorov / The Bartlett School of Architecture, UCL
阴影线：一种模拟和推测性建造的试验
鲍勃·谢尔，托马斯·皮尔斯，格里格·格里戈罗夫 / 伦敦大学学院Bartlett建筑学校
- 112 Clay Robotics
Kwang Guan Lee, Sun Jiashuang / The Bartlett School of Architecture, UCL
机器人粘土打印
康源，孙佳爽 / 伦敦大学学院Bartlett建筑学校
- 118 Landesgartenschau Exhibition Hall
Robotically Fabricated Lightweight Timber Shell
Tobias Schwinn, Oliver Krieg, Achim Menges / ICD Institute for Computational Design,
University of Stuttgart
Landesgartenschau 展馆：机器人建造的轻型木壳结构
托比斯·斯科文，奥利弗·克里格，阿希姆·门格斯 / 德国斯图加特大学计算设计学院
- 124 Woven Clay
Experiments in Robotic Clay Deposition
Jared Friedman, Heamin Kim, Olga Mesa / Harvard Graduate School of Design
编织粘土：在机器人粘土沉淀上的实验
贾瑞德·弗莱德曼，赫敏·金，奥尔加·麦莎 / 哈佛大学设计研究生院
- 132 Reverse Rafter
Structural Performance Simulation Based On Wood Tectonics
Philip F. Yuan, Chai Hua / CAUP, Tongji University
反转檐椽：传统木构的结构性能模拟
袁烽，柴华 / 同济大学建筑与城市规划学院
- 142 Unfolding Topology
Bandsawn Bands
Ryan Luke Johns, Nicholas Foley / Greyshe
展开的拓扑结构：电锯木条椅的制作
瑞安·卢克·约翰斯，尼古拉斯·弗利 / Greyshe设计事务所

PROJECTS OVERVIEW 项目概述

- 150 Composite Wing & Brass Swarm
Roland Snooks / Studio Roland Snooks & Kokkugia
复合翼与黄铜群
罗兰德·斯怒克斯 / 罗兰德·斯怒克斯工作室 & Kokkugia事务所
- 156 Robotic Lattice Smock
Andrew Saunders (RPI) & Gregory Epps (RoboFold)
机器人点格褶裥
安德鲁·桑德斯 (美国伦斯勒理工学院) & 格里高利·艾比思 (RoboFold公司)
- 160 Design of Robotic Fabricated High Rises
Gramazio Kohler Research, ETH Zurich & SEC Future Cities Laboratory (FCL)
机器人建造高层建筑设计
苏黎世联邦理工学院“格拉马齐奥与科勒”研究中心 & 未来城市实验室
- 166 Mesh Mould
Gramazio Kohler Research, ETH Zurich & SEC Future Cities Laboratory (FCL)
网格模型
苏黎世联邦理工学院“格拉马齐奥与科勒”研究中心 & 未来城市实验室
- 170 Automaton
Designing Intelligence
Robothouse, Southern California Institute of Architecture (SCI-Arc)
自动：设计智能化
美国南加州建筑学院机器人实验室
- 176 Gesture translation & Light Object
Robothouse, Southern California Institute of Architecture (SCI-Arc)
手势转译与光物体
美国南加州建筑学院机器人实验室
- 180 Domain
Research on Design and Robotic Manufacturing in the Field of Double Curved Geometries
Sandra Manninger, Matias del Campo / Taubman College, University of Michigan
领域：双曲几何领域设计与机器人制造研究
马宁格, 马德朴 / 美国密歇根大学Taubman建筑与城规学院
- 186 Robotic Building
Hypebody, TUDelft
机器人建筑
荷兰戴尔夫特大学Hypebody研究小组
- 192 The Exploration on the Teaching of Robotic Fabrication and Design
Yu Lei, Xu Weiguo / School of Architecture, Tsinghua University
在机器人建造设计教学上的尝试
于雷, 徐卫国 / 清华大学建筑学院

198 Spatial 6D Biomimetic Printing

DigitalFUTURE Shanghai Summer Workshop, Tongji University

空间仿生结构6D打印

同济大学上海“数字未来”暑期工作坊

202 Edge Chair

Digital Design Research Center (DDRC), CAUP, Tongji University

边锋椅

同济大学建筑与城市规划学院数字设计研究中心

206 Topological Surface

Digital Design Research Center (DDRC), CAUP, Tongji University

拓扑表皮

同济大学建筑与城市规划学院数字设计研究中心

BIOGRAPHIES 作者简介

Confluence of High Performance-based Architecture and Robotic Fabrication Industries

基于机器人建造的高性能建筑未来

Philip F. Yuan / CAUP, Tongji University
袁烽 / 同济大学建筑与城市规划学院

机器人作为一种高精度与高效率的加工与建造工具已经广为人知，而随着机器人越来越深入地介入各个行业，其意义已经不能仅仅用“高精度”与“高效率”来概括，机器人以及与之紧密联系的智能技术网络带来的强大开放性正在改变虚拟世界与现实世界之间的联系，人与机器、人与之间的关系正在被重新定义，机器人开始在社会层面上产生影响。从建筑师的角度来说，机器人的介入提供了一种界面，一种数据与动作、虚拟与现实之间的交互界面，这使得建筑师在对从设计到建造的过程的把握更加游刃有余，设计更加自由化，同时也不会缺失建造的合理性，这让建筑师在整个建筑设计与建造过程中达到一个更加自主的状态。另一方面，借助机器人，设计与建造两方面可以形成一个很积极的交互，这将从本质上影响到未来建筑的设计与建造方法以及价值观——高性能植入成为一体化建筑设计与建造方法的核心，同时建筑性能成为评价建筑的重要因素，最终，这将给未来建筑存在的方式带来革新。

高性能建筑未来：从形式驱动到性能驱动

从建筑形式的生成逻辑上来讲，参数化设计正在被重新思考。建筑的性能化目标正在成为参数化设计的重要内容。在历史上，从文艺复兴古典柱式到现代主义新建筑五点，范式转变往往以宣言方式出现，但需要被社会实践检验^[1]。如今，建筑师正在从更理性的角度，尤其是建筑性能化以及建筑生产的角度去思考建筑美学以及建筑形式的意义。如何提升建筑与自然、建筑与人的全新关系，并且通过建造来实现这种目标，正在成为建筑学术研究的重要问题。从参数的性能目标出发，探索城市、空间、组织、

The robot is well known as a highly precise and efficient tool for manufacturing and fabrication. However, with the robot being deeply involved in various industries, it is becoming more than just a highly precise and efficient tool. The powerful opportunities afforded by the robot and the closely-related intelligent technology network are changing the relationship between the virtual world and the real one. Moreover, the relationship between humans, and that between humans and machines is being redefined. The robot is exerting an ever greater influence at a social level. From the perspective of architects, the robot offers an interface between data and action, between the virtual and the real so that architects can not only have more freedom to design but also keep control of fabrication. Architects can be more autonomous throughout the whole process from design to fabrication. In addition, the robot promotes positive interaction between design and fabrication, which will influence design and fabrication approaches in the future, as well as basic values. The incorporation of high performance considerations becomes the essence to integrating architectural design and fabrication, and in turn building performance becomes a key factor in building evaluation. Finally, the robot will revolutionize future construction.

The Future of High Performance Architecture: From Form Driven to Performance Driven

Parametric design is now being reconsidered as the redefinition of the parameters. The information of performance-based design is outlining