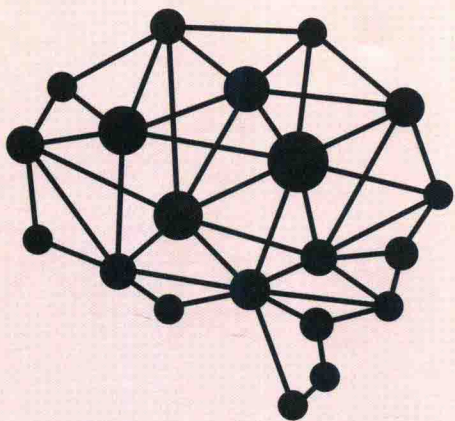


人脑与AI的 数学思维



我们即将进入一个由算法主导和支配的世界，AI将在互联网、绘画、音乐、写作等全方面挑战人类的创造力和想象力。

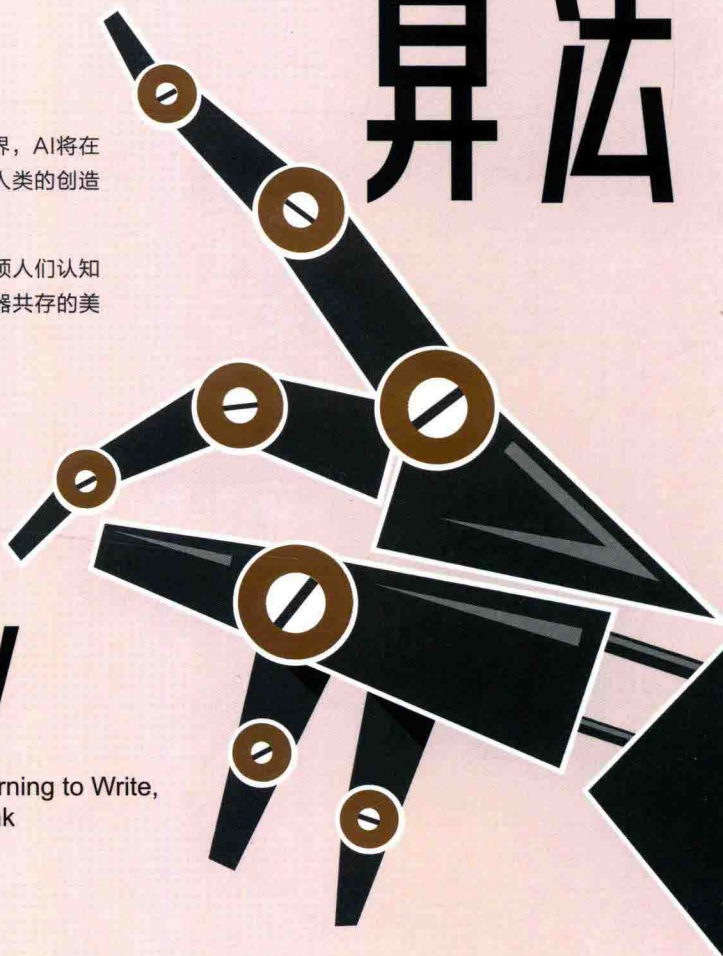
索托伊用数学思维帮助我们理解算法，引领人们认知创造力的本质，帮助人类创造一个人与机器共存的美好未来。

The Creativity Code

How AI Is Learning to Write,
Paint and Think

〔英〕马库斯·杜·索托伊 著
(Marcus du Sautoy)
王晓燕 陈浩 程国建 —— 译

天才 与 算法



机械工业出版社
China Machine Press

天才 与 算法

〔英〕马库斯·杜·索托伊 著
(Marcus du Sautoy)

王晓燕 陈浩 程国建 译

人脑与AI的
数学思维

The
Creativity
Code

How AI Is Learning to Write,
Paint and Think



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

天才与算法：人脑与AI的数学思维 / (英) 马库斯·杜·索托伊 (Marcus du Sautoy) 著；王晓燕，陈浩，程国建译．—北京：机械工业出版社，2020.2
书名原文：The Creativity Code: How AI Is Learning to Write, Paint and Think
ISBN 978-7-111-64714-0

I. 天… II. ①马… ②王… ③陈… ④程… III. 人工智能—研究 IV. TP18

中国版本图书馆CIP数据核字(2020)第025582号

本书版权登记号：图字 01-2019-6097

Marcus du Sautoy. The Creativity Code: How AI Is Learning to Write, Paint and Think.

Copyright © 2019 by Marcus du Sautoy.

Chinese (Simplified Characters only) Trade Paperback Copyright © 2020 by China Machine Press.

This edition arranged with Marcus du Sautoy through BIG APPLE AGENCY. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only, excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan.

No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or any information storage and retrieval system, without permission, in writing, from the publisher.

All rights reserved.

本书中文简体字版由 Marcus du Sautoy 通过 BIG APPLE AGENCY 授权机械工业出版社在中华人民共和国境内 (不包括香港、澳门特别行政区及台湾地区) 独家出版发行。未经出版者书面许可，不得以任何方式抄袭、复制或节录本书中的任何部分。

天才与算法：人脑与AI的数学思维

出版发行：机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街22号 邮政编码：100037)

责任编辑：林晨星

责任校对：殷虹

印刷：大厂回族自治县益利印刷有限公司

版次：2020年3月第1版第1次印刷

开本：170mm×230mm 1/16

印张：19.25

书号：ISBN 978-7-111-64714-0

定价：79.00元

客服电话：(010) 88361066 88379833 68326294

投稿热线：(010) 88379007

华章网站：www.hzbook.com

读者信箱：hzjg@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问：北京大成律师事务所 韩光 / 邹晓东

HZBOOKS | Economics Finance Business & Management

华章经管



Praise 赞誉



艺术一直被认为是人类情感和创造力的产物，是 AI 无法企及的高峰。本书系统而全面地呈现了在绘画、音乐、文学等领域中 AI 算法的研究，充满了逻辑性和实证性，展示了多个突破“图灵测试”的成果。对于 AI 研究者，这是一本 AI 艺术研究的“全球旅游指南”。对于艺术家，这本书是客观了解 AI 能力、利用 AI 技术提高创作效率和激发突破性创新的加速器。

英特尔中国研究院院长

宋继强

一本书读通 AI 算法的前世今生：从代数之父花拉子密到 DeepMind 创始人，都在用数学驱动世界前进。本书通过剖析人脑与 AI 各自的局限，打开数学、音乐、绘画和文学的奥秘之门。人类的天才创造力跟数学息息相关，而创造力是进化的根本动力。实际上，只有不断探索生物与机器算法的终极奥秘，才能最终打通大脑与 AI 的壁垒，世界也将迎来创造力指数级爆发的新纪元。

新智元创始人

杨静

这是一本精彩绝伦的好书！被誉为牛津“科学大使”的索托伊，将数学家、爵士乐手、作曲家、小说家、诗人、画家、软件工程师等人一系列创造行为的共同“原码”展现在读者面前，这一“原码”是人类创造力的源泉，也是鉴赏和领略 AI 无限魅力的金钥匙。这本书应成为每位关注 AI 的思想者的案头必备。

“信息社会 50 人论坛” 执行主席，苇草智酷创始合伙人
段永朝

这是一本解释和探究如何激发 AI 创造力的书。通过对当下 AI 最新展示出来的与“创造力”相似的能力，本书反过来解释什么是人类创造力，以及如何理解这种创造力在人类大脑中产生的模式与结构。作者讨论的是最新一代 AI 的“极限”：它能否拥有与人类相似甚至超越人类的创造力，并且帮助人类更深度地理解我们所珍视和渴望的“创造力”可以怎样生成、保护和提高。这就是当下“机器学习”在做的一些事情。作者运用数学、概率学、心理学等多重视角，去试图理解从原始数据开始慢慢学习的 AI，是如何产生判断与决策的。对神经网络深度学习的研究，让我们超越“AI 或受制于人类逻辑指导的代码，或产生碾压人类的高级智能”这两个极端的二元对立，开始去试验并尝试人类与 AI 之间相互学习、共同成长的方法与路径。

北京大学新闻与传播学院教授
吴靖

当今世界的风口浪尖非 AI 莫属。当 AI 的各种应用逐渐渗透到我们生活中的时候，人们自然会对 AI 的演变与发展产生好奇。如果你对 AI 的工作机理有兴趣，我推荐你阅读英国皇家学会和美国数学学会会士马库斯·杜·索托伊教授撰写的这本《天才与算法：人脑与 AI 的数学思维》。在本书中，作者完全未采用数学语言，却形象生动、通俗易懂地描绘了算法、数学思维和艺术创作之

间的关系，值得读者从艺术的视角细细品味！

清华大学经济管理学院教授

肖勇波

AI 可以从打砖块游戏和下围棋中发现妙招并战胜人类，AI 还可以用凡·高的风格作画，用巴赫的风格作曲……书中这些进展让我亦喜亦悲。某一天，AI 或许能够创造并教会我们参与更加波澜壮阔的“游戏”；AI 或许不再模仿，而是成为我们这个时代的凡·高和巴赫！希望这一天来得晚一些。

电子科技大学互联网科学中心主任，教授

周涛

创造力是人类智慧最后的阵地，然而机器经过上亿次算法的迭代也可能完成创造它的人类无法理解的艺术创作。《天才与算法：人脑与 AI 的数学思维》带我们通向人类与机器共同创造之路。

北京师范大学系统科学学院教授，

集智俱乐部、集智学园（北京）科技有限公司创始人

张江

目录 Contents



赞誉

第 1 章	洛夫莱斯测试	001
第 2 章	激发创造力	009
	创造力教得会吗	014
第 3 章	向人类宣战	019
	非凡的游戏男孩	023
	首战告捷	029
	精妙绝伦	031
	人类的反击	034
	山头还是主峰	039
第 4 章	算法，网络时代的生活秘诀	043
	荒岛算法	047
	数学，幸福婚姻的秘诀	055
	书商之战	059

第 5 章	从“自上而下”到“自下而上”	063
	看还是不看	067
	算法的幻觉	072
第 6 章	算法的进化	077
	如果你喜欢……	079
	如何训练算法	085
	偏见和盲点	087
	机器之间的战争	090
第 7 章	数字绘画	095
	什么是艺术	099
	生物创造力	105
	可视化编码	108
	分形：大自然的代码	111
	从“亚伦”到“绘画傻瓜”	115
第 8 章	站在巨人的肩膀上	123
	复活伦勃朗	127
	创造力竞争	132
	算法如何思考	142
	算法就是一门艺术	145
第 9 章	数学的艺术	149
	数学证明的游戏	152
	数学的起源	154
	证明的起源	159

第 10 章	数学家的望远镜	165
	Coq 证明助手	169
	人脑的极限	171
	沃沃斯基的愿景	175
第 11 章	音乐：声响的数学之旅	179
	巴赫：首位音乐程序员	183
	艾米：人工智能作曲家	188
	模拟游戏：音乐图灵测试	193
	“深度巴赫”：从头开始再生作曲家	198
第 12 章	歌曲的创作公式	203
	普希金、诗歌和概率	205
	“续作者”：第一个人工智能即兴爵士作曲演奏者	209
	“心流机”	211
	量子作曲	217
	人为何创作音乐	220
第 13 章	深度数学	223
	Mizar 的数学	226
	数学图灵测试	228
	巴别数学图书馆	231
	数学寓言	234
	意料之外的故事	236
	数学的叙述艺术	238

第 14 章	语言游戏	241
	《危险边缘》	248
	“华生”的工作模式	251
	在翻译中迷失	255
	机器人术语	258
	受阻于“中文房间”试验	259
第 15 章	人工智能讲故事	263
	如何在一个月内完成一部小说	271
	哈利·波特和死亡波特尼克	273
	假如……	275
	伟大的“自动化”数学家	279
	人工智能新闻	281
第 16 章	为什么要创造：思想的交流	287

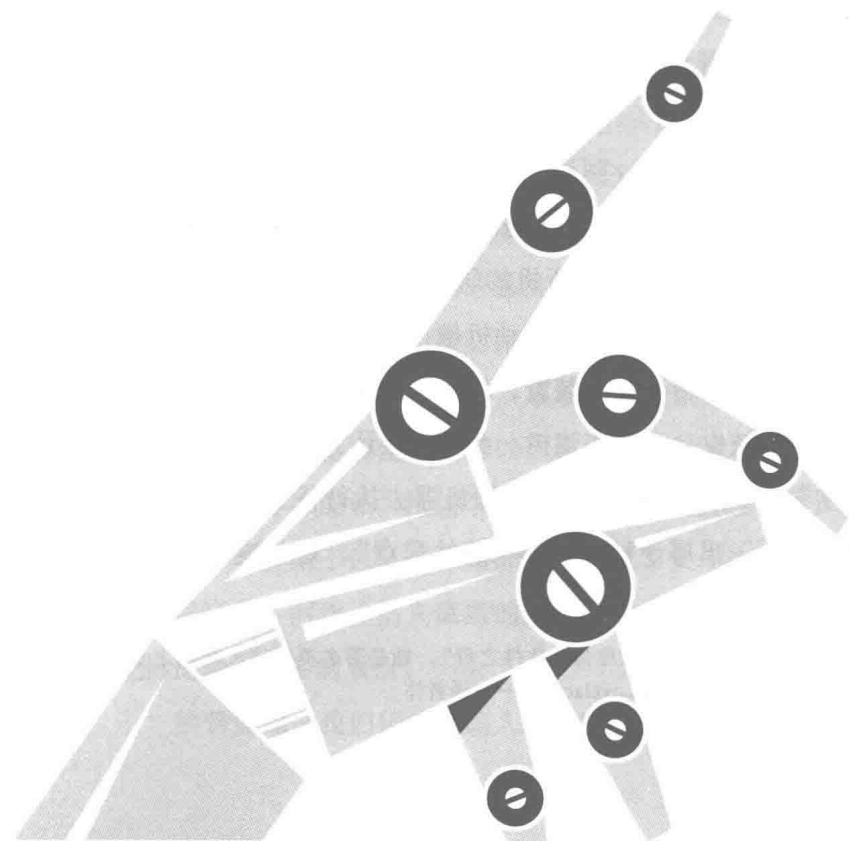
01

克劳德·德彪西 (Claude Debussy)

艺术创造规则，而不是规则创造艺术。

第1章

洛夫莱斯测试



“这台机器实在是太漂亮了！”17岁的阿达·拜伦^①（Ada Byron）在参观查尔斯·巴贝奇^②（Charles Babbage）发明的差分机模型时发出了这样的惊叹。

差分机是一种自动机械计算器，由大大小小的齿轮堆叠成塔状结构，每个齿轮的轮齿上标记有数字，旁边装有一个手柄。通过手柄的转动来驱动齿轮，在嘎吱嘎吱声中，差分机可以自动完成比较简单的数学计算，比如平方、立方甚至平方根……

受母亲及家庭老师的熏陶和培养，阿达从小就对数学和机械有着极其浓厚的兴趣，长期关注并深入研究巴贝奇的设计构想。数年后，已经嫁给洛夫莱斯伯爵的阿达决定与巴贝奇合作，致力于分析机的研发。分析机不同于差分机，它是一种通用的数学计算机，能力不局限于自动机械计算。阿达认为分析机应该发展成一个可用符号来表示任何事物的装置，她还预言分析机可以绘图、演奏音乐，甚至在其他科学领域也会有一些建树。此外，她认为分析机将产生一种全新的“理想化科学”，数学家将通过编程指挥机器去执行任务。她甚至预测，这台机器将能够“谱写”出属于科学家的“美妙乐章”。这些连巴贝奇都

① 英国数学家，计算机程序创始人，被称为“软件之母”。她是著名英国诗人拜伦之女，结婚后被称为阿达·洛夫莱斯（Ada Lovelace）。——译者注

② 英国数学家、发明家、计算机先驱。——译者注

没有想过。

现在的观点普遍认为，阿达所阐述的核心思想是向创造性编码迈出的第一步，它启发着艾伦·图灵（Alan Turing）、马文·明斯基（Marvin Minsky）和唐纳德·米基（Donald Michie）等一系列先驱，并引发了席卷全球的人工智能革命。阿达对机器能力保持着谨慎的态度：“分析机能做我们命令它去做的任何工作，但不能创造；能分析，但不能预测。它的本质是帮我们实现已知的事情。”阿达认为，分析机有其局限性：输出（你所得到的）不会超过输入（你所投入的）。

多年来，这个观点已在计算机科学领域成为共识。它就像一种心理暗示，让我们觉得“智能机器取代人类”绝对不可能发生。也有人认为，想让机器拥有智能，前提是先搞清楚人类的智能。

研究人类智能，在宏观上有心理学，在微观上有分子生物学等学科，但每个方向在研究到一定阶段就会遇到瓶颈而停滞不前了。没有任何一个学科能告诉我们：智能从何而来，怎样才能产生智能。现在，即使我们已经了解了许多关于大脑的知识，但人类智能仍然像是一个“黑匣子”。对这个“黑匣子”的研究有两种方法：要么从外部观察其行为，模拟其结构，我们称此为自上而下的研究；要么猜测其结构，从外部的输入、输出验证其行为，我们称此为自下而上的研究。在计算机编码的思维模式方面，人们逐渐从自上而下的方式向自下而上的方式进行转变。究其原因，是因为自下而上的方式更有助于计算机寻找合适的“路径”去完成任务。事实上，我们根本不需要搞清楚什么是智能，以及怎样才能产生智能，就可以让算法在“数字之海”畅游。此外，算法还能像孩子一样学习成长。机器学习所创建的代码甚至能够产生惊人的洞察力和决策能力，可应用于医学图像精准识别及股票交易决策等领域。新一代的程序员用实践证明了阿达·洛夫莱斯的预言是错误的——输出可以大于输入！你可以获得比输入更多的东西。

尽管如此，我们仍然相信人类活动的某些领域是机器依然无法触及并参与

的，比如人类的创造力。人类以非凡的想象力和创新力，创造出反映内心情感世界的艺术作品，进而拓展了人类存在的意义。换言之，如果把人类智慧看成一种抽象意义上的编码，那么艺术作品就是这段编码中情感的流露和表达。

这完全取决于人类的智慧。莫扎特的《安魂曲》暗含了对死亡的思考；莎士比亚的《奥赛罗》含有对复杂情感的体会；伦勃朗的肖像画所描绘的模特衣着和样貌，也蕴含着人物情感的倾诉。机器的创造力怎么有可能取代人类，或者说去和莫扎特、莎士比亚、伦勃朗这些艺术巨匠竞争呢？

需要声明的是，本书涉及的艺术主要源于西方文化，这主要是因为这些绘画、音乐、文学作品都是我所熟知的。首先，我对自己以西方为中心的观点表示歉意。其次，跨越不同文化背景目前仍存在巨大的挑战。因此，需要一个统一的标准来衡量人类与计算机的创造力。

从广义上来讲，人类的创造力不仅仅存在于艺术领域：鼎鼎有名的肥鸭餐厅（米其林三星级餐厅）的主厨赫斯顿·布卢门撒尔（Heston Blumenthal）的分子烹饪法，“荷兰飞人”“巴萨教父”约翰·克鲁伊夫（Johan Cruyff）精湛绝伦的足球技法，英国女建筑师扎哈·哈迪德（Zaha Hadid）美轮美奂的建筑设计，匈牙利发明家、雕刻家、建筑学教授厄尔诺·鲁比克（Ernö Rubik）发明的魔方，甚至游戏《我的世界》的代码都应该被视为人类创造力的一部分。

在我所研究的数学世界里，创造也是重要的组成部分。创造的吸引力是使我伏案数小时构思方程式、写出证明过程的重要原因之一。经过漫长的酝酿、不懈的努力，灵感瞬间闪现，可以使我构思并绘制出一个新的对称结构。这个从无到有的过程，给我带来纯粹的兴奋体验，而这正是创造力的魅力所在。

创造力是一种原动力，它驱使人们产生新的、令人惊讶的、有价值的想法，并积极地将这些想法付诸实践。

创造出在表面上看似新的东西相对容易，比如我可以借助计算机得到无数种关于对称性结构的建议方案。但这是在意料之中的，不会令人惊讶，更无价值可言。若我发现的不仅是一种新的对称结构，而且在群论与数论之间建立了

关联，为探索充满未知的数学世界提供了一种新的途径，那这就是它令人惊讶的价值。

每当我们自以为预见到“故事的结局”时，就会突然被带往下一个新的开始。这是一份值得我们充分关注的大惊喜。所以，无论是我还是其他任何人，在遇到偶然间的创造性行为时，都会表现得异常兴奋、急迫和匆忙。

是什么赋予了事物价值？是价格还是别人的认可？价值是相对的：我写的诗或画的画，在我看来是宝贝，在别人看来可能一文不值；一部情节曲折的小说与能改变人们生活体验的文学创作方法、建筑设计方案和音乐创作手法相比，其价值就显得微不足道了。这就是伊曼努尔·康德[⊖]（Immanuel Kant）所说的“典型的原创力”——人类所独有的，能成为别人灵感的原创性行为。

所有这些归根结底都是神经元活动和化学反应的产物，是人类经过数百万年进化所形成的大脑的“代码”。科学家经过长期的研究发现，这一过程是有章可循的。那么，人类创造力的“算法”或它所遵循的规则是否会超乎我们的想象？

本书主要讨论新一代人工智能（AI）的“极限”：它是否能拥有与人类相似甚至超越人类的创造力。机器同样可以画画、创作音乐或小说吗？它也许无法与毕加索、莫扎特、莎士比亚等大师相媲美，但它在创作故事、画画方面能否达到孩子的创造力水准呢？对那些或打动人心，或平淡无奇的艺术作品进行对比分析之后，机器能否学会创作？人工智能是否能帮助人类提升创造力，从而帮助我们另辟蹊径？

创造力并不局限在艺术领域发挥作用，还广泛地在其他领域起着不可比拟的作用。比如，我女儿用乐高积木搭建的城堡；我儿子帮助他的球队赢得足球比赛后，被称为“富有创造力的中场球员”。我们在创造性地解决日常问题，创造性地管理和组织团队。正如我将要在本书中阐述的，数学是一门极具创造性的学科，它与艺术有很多共通之处。

⊖ 德国作家、古典哲学创始人。——译者注

创造的冲动是人类有别于其他动物的关键要素之一。但因为人类更习惯去做重复性的日常工作，创造的“双翼”会被这种惯性束缚而得不到激发。想要创造，我们必须走出思维定式。或许此过程中机器会发挥作用，提出一些新的想法和建议，以启发我们突破思维定式，防止我们陷入简单的重复。最终，机器可能会帮助我们，而作为人类，我们应该表现得不那么像机器。

你可能会有一点诧异：作为数学家的我为什么会带你踏上了解机器创造力的旅程？原因很简单：算法、计算机代码、人工智能、机器学习都是以数学为核心的。如果了解掌控现代生活的算法完成这些事情的内在机理，那么就需要理解支撑它们的数学规则，否则就会在未来的生活中茫然无措。

人工智能正在向人类智能发起挑战，很多人类从事的工作，人工智能也可以做，甚至做得更好。但本书的重点不在于“无人驾驶”或“智能医疗”，而是去探索“机器编码”与“人类编码”之间的竞争：计算机有创造力吗？有创造力意味着什么？我们对艺术的情感反应中有多少属于大脑对模式和结构做出反应的产物？

这不只是一个有趣的智力问答。艺术是人类大脑编码的一种“输出”，通过它，我们可以更深入地了解复杂的人类大脑是如何工作的。计算机也是如此，我们将通过计算机“创作”的艺术作品，了解计算机的工作机理。“程序员通常并不真正理解最终的代码是如何工作的”，这是“自下而上”编码方式面对的挑战之一。计算机创造的艺术像魔法师手中转动的水晶球，透过它，我们可以分析计算机是如何做出决策，并预知新代码在潜意识下的决策方向的。此外，它还可能揭示人类尚不能完全理解的计算机代码中固有的局限性和危险性。

促使我踏上研究机器创造力旅程的另一个私人原因是，作为一个数学家，我正在经历一场“生死存亡”的危机：随着人工智能的发展，在未来几十年里，数学家的工作是否还会对人类有价值？数学是一门关于数字和逻辑的学科，可这不是计算机最为擅长的吗？

然而，数学不仅是数字和逻辑，也是一门具有高度创造性，涉及美和美学