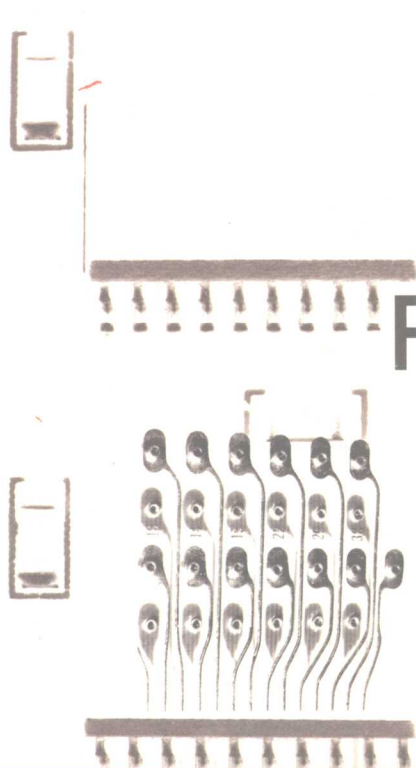




开放人文



The Pattern on the Stone

The Simple Ideas
that Make
Computers Work

[美] 丹尼尔·希利斯 著 崔良沂 译 白英彩 校

W. Daniel Hillis



通灵芯片

计算机运作的简单原理

上海世纪出版集团

通 灵 芯 片

——计算机运作的简单原理

(美) 丹尼尔·希利斯 著

崔良沂 译

白英彩 审

世纪出版集团 上海科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

通灵芯片：计算机运作的简单原理 / (美)希利斯著；
崔良沂译. —上海：上海科学技术出版社, 2009. 1
(世纪人文系列丛书)
ISBN 978-7-5323-9441-8/N · 270

I. 通… II. ①希…②崔… III. 电子计算机—基本知识
IV. TP3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 079964 号

责任编辑 周文峰 沈晓莺
装帧设计 陆智昌 朱赢椿

通灵芯片——计算机运作的简单原理

[美]丹尼尔·希利斯 著

崔良沂 译

白英彩 审

出 版 世纪出版集团 上海科学技术出版社
(200235 上海钦州南路 71 号 www.ewen.cc www.sstp.cn)
发 行 上海世纪出版集团发行中心
印 刷 上海江杨印刷厂
开 本 635×965mm 1/16
印 张 9.5
字 数 95 000
版 次 2009 年 1 月第 1 版
印 次 2009 年 1 月第 1 次印刷
ISBN 978-7-5323-9441-8/N · 270
定 价 19.80 元

世纪人文系列丛书编委会

主任

陈 昕

委员

丁荣生	王一方	王为松	毛文涛	王兴康	包南麟
叶 路	何元龙	张文杰	张英光	张晓敏	张跃进
李伟国	李远涛	李梦生	陈 和	陈 昕	郁椿德
金良年	施宏俊	胡大卫	赵月瑟	赵昌平	翁经义
郭志坤	曹维劲	渠敬东	韩卫东	彭卫国	潘 涛

出版说明

自中西文明发生碰撞以来，百余年的中国现代文化建设即无可避免地担负起双重使命。梳理和探究西方文明的根源及脉络，已成为我们理解并提升自身要义的借镜，整理和传承中国文明的传统，更是我们实现并弘扬自身价值的根本。此二者的交汇，乃是塑造现代中国之精神品格的必由进路。世纪出版集团倾力编辑世纪人文系列丛书之宗旨亦在于此。

世纪人文系列丛书包涵“世纪文库”、“世纪前沿”、“袖珍经典”、“大学经典”及“开放人文”五个界面，各成系列，相得益彰。

“厘清西方思想脉络，更新中国学术传统”，为“世纪文库”之编辑指针。文库分为中西两大书系。中学书系由清末民初开始，全面整理中国近现代以来的学术著作，以期为今人反思现代中国的社会和精神处境铺建思考的进阶；西学书系旨在从西方文明的整体进程出发，系统译介自古希腊罗马以降的经典文献，借此展现西方思想传统的生发流变过程，从而为我们返回现代中国之核心问题奠定坚实的文本基础。与之呼应，“世纪前沿”着重关注二战以来全球范围内学术思想的重要论题与最新进展，展示各学科领域的新近成果和当代文化思潮演化的各种向度。“袖珍经典”则以相对简约的形式，收录名家大师们在体裁和风格上独具特色的经典作品，阐幽发微，意趣兼得。

遵循现代人文教育和公民教育的理念，秉承“通达民情，化育人心”的中国传统教育精神，“大学经典”依据中西文明传统的知识谱系及其价值内涵，将人类历史上具有人文内涵的经典作品编辑成为大学教育的基础读本，应时代所需，顺时势所趋，为塑造现代中国人的人文素养、公民意识和国家精神倾力尽心。“开放人文”旨在提供全景式的人文阅读平台，从文学、历史、艺术、科学等多个面向调动读者的阅读愉悦，寓学于乐，寓乐于心，为广大读者陶冶心性，培植情操。

“大学之道，在明明德，在新民，在止于至善”（《大学》）。温古知今，止于至善，是人类得以理解生命价值的人文情怀，亦是文明得以传承和发展的精神契机。欲实现中华民族的伟大复兴，必先培育中华民族的文化精神；由此，我们深知现代中国出版人的职责所在，以我之不懈努力，做一代又一代中国人的文化脊梁。

上海世纪出版集团
世纪人文系列丛书编辑委员会
2005年1月

通灵芯片

译者的话

《通灵芯片》是一本科学启蒙书，作者是美国计算机科学家丹尼尔·希利斯（Daniel Hillis）。他以大规模并行超级计算机等先驱性成就闻名于世，现任美国应用头脑公司总裁和首席技术官，兼任《人工生命》、《复杂性》、《复杂系统》、《未来一代计算机》等期刊编辑，曾创立美国思维机器公司，从事过世界上超高速计算机——大规模并行“联接机”的设计，在平行计算领域有重大贡献，曾获霍珀奖、雷梅纽詹奖、美国创造精神奖、美国计算机协会会员奖，目前的研究兴趣是智能与进化。图灵奖得主马文·明斯基（Marvin Minsky）曾这样赞誉他：“丹尼尔·希利斯是我所见到的最富于发明天赋、最深邃的思想家之一。”

希利斯自小便是一个既富于灵感、也富于匠心的神童，曾花掉100多盒名为“大工程师”的积木造过一个计算机（现为麻萨诸塞州波士顿市博物馆展品）。他的可贵之处在于其求知天性和探索精神。知其然，不可不知其所以然；唯知其所以然，方真正知其然。

在本书中，希利斯开门见山地指出：计算机科学是“概念驾驭技术”。他以自己顽童时期的追忆，计算机天才设计家博大精深的积淀，智能和进化领域先驱者的思考，笔走龙蛇，游刃有余地对计算机运作的根本原理作了生动而富有趣味的诠释，可谓思维缜密、说理透彻如高屋建瓴，行文流畅、深入浅出似庖丁解牛，将计算机这一人类神奇发明之奥秘追根究底和盘托出，进而引出机器智能的联想，探索心中萦绕的未来人工智能的进化和发展，行文涵盖广远，积思深沉，包孕着真和美的智慧闪光。

译者在德国蒂宾根大学任客座教授时，与该书德文版译者塞巴斯蒂安·沃格尔（Sebastian Vogel）博士作过交流，深感该书在计算机科学普及方面，是一本不同寻常的开先声之作。阅读该书，喜欢动脑又动手的读者，特别是青少年，在与科学大师的心智对话中一定会感到一种强烈的精神追求：寻求本真，不断实践，超越常规，极目未来。计算机世界日日在变化，该书之于计算机知识的求知、探索和创新，其意义悠悠之长远矣。

崔良沂于 2008 年 6 月

cui_ly@sjtu.edu.cn

序言：石的奇迹

石头上我蚀刻了一幅图案，内有几何图形种种，在不明者眼中，显得神秘而又复杂，但我明白，只要布局正确，这块石头将被赋予一种特殊的能力，即对一种至今无人说过的咒语作出反应。我用这种语言提问，石头会显灵应答：那是一个我用符咒创造的世界，一个在石头图案内想像的世界。

几百年前，在我的新英格兰故乡，我所干的这种事，说出来也许会送我上火刑架上处死。然而我的工作丝毫不涉及巫术。我从事计算机设计和计算机编程。那石头是硅片，那咒语便是软件。刻在石头上的图案，以及指令计算机工作的程序，似乎复杂而又神秘，但根据一些基本的生成原则，便不难将其解释清楚。

计算机是迄今最复杂的人造物，但从本质上说，它又相当简单。我与成员仅数十人的几个小组一起，研制了包含工作元件达几十亿之多的种种计算机。倘若把其中任意一台计算机的线路图画出来，可能相当于一个颇具规模的公共图书馆的藏书量，没有人会有耐心将其

浏览一遍。幸好，这样的线路图并无必要，因为计算机的设计存在着规律性。计算机是以组成一个分层体系的部件构造的，每一部件都重复多次。要懂得计算机，你只需理解此分层体系就行了。

还有一个使计算机易于理解的原理，就是其各部件之间交互作用的本质。这些交互作用很简单，并且是明确定义的，通常为一维，可清晰地排列成一系列因果关系。因此，计算机的内部运作与别的相比，例如汽车引擎或收音机，更容易理解。比起汽车或收音机，计算机的部件要多得多，但计算机部件协同运行的方式却也简单得多。计算机依据的是概念，对技术的依赖性没有那么大。

况且，概念几乎与制造计算机的电子技术无关，当今的计算机由晶体管和导线组成*。但根据同样的原理，亦可采用阀门和水管，或棍杆和绳索来实现。这些原理是计算机能够计算的真谛。关于计算机最值得一提的是：它的本质凌驾于技术之上。本书即旨在阐述计算机的这一本质。

但愿我初涉计算这门学科时便能读到这样一本书。大多数计算机书籍不是关于计算机操作，便是关于计算机制造技术（只读存储器、随机存储器、磁盘驱动器等等）——本书则讲的是概念。本书旨在阐述，至少是介绍，计算机科学领域中的大多数重要概念，包括布尔逻辑、有限自动机、编程语言、编译程序和解释程序、图灵机的普遍性、信息论、算法和算法复杂度、探索法、不可计算的函数、并行计算、量子计算、神经网络、机器学习乃至自组织系统。在读这本书时，对计算机感兴趣的读者可能已接触过其中的许多概念，但若未接受过正规的计算机教育，一般人很难明白这些概念是如何结合在

* 系指超大规模集成电路，说到底，它是将无数晶体管等元件和线路封装在单片晶体硅上而成。——译者注

一起的。本书意在融会贯通——从简单的物理过程，例如开关的闭合，一直深入到自组织系统的学习和适应功能。

揭示计算机的本质，有几个基本的主题：首先是功能抽象原则，它奠定了如上所述的因果关系分层体系。计算机结构是应用这一原则的范例——有许多层次，一再重复。计算机是容易理解的，因为当你关注分层体系中某一层发生的情况时，无需顾及较低层次所发生的细节。功能抽象使概念独立于技术。

第二个一致性主题是通用计算机的原则——即，实际上只存在一种计算机，更确切地说，所有类型的计算机在所能和所不能方面是一致的。我们几乎可以这样说，任何类型的计算装置，无论是由晶体管、杆和绳、还是由神经元构成，都可用一种通用计算机来模拟。如我以后阐述的那样，一个重要的假设是：使计算机像人脑一样思维只是一个如何为其正确编程的问题。

本书的第三个主题，将在最后一章充分展开。在某种意义上与第一个主题对立。关于计算机设计和计算机编程，或许会有一种全新的方法——即一种不基于标准的工程设计的方法。这是非常引人入胜的，因为当系统过于复杂时，常规的系统设计方法便变得无能为力。我们目前设计计算机的那些原则最终会导致某种程度的脆弱和低效。但此种弱点与信息处理机器的根本局限性无关——这是分层体系设计方法的局限。但试想我们若采用一种模拟生物进化的设计进程——意即在这种进程中，系统行为的实现，源于许多简单交互作用的累积，而非“自顶向下”的控制，试想那将会怎么样？以这样一种进化进程设计的计算装置，可能会显示生物体的某些健全性和灵活性——至少，这是一种希望。这一途径尚不清楚，到头来也有可能行不通。这是目前我研究的一个课题。

在解释计算机的本质时，必须先弄清某些基本原理，然后再

转到翔实的内容。本书前两章介绍的基本原理有：布尔逻辑、二进制位和有限自动机，你在读完第三章后必有所获，将能自顶向下地理解计算机是如何工作的。这时便可进入第四章，学习有关通用计算机的有趣的概念。

哲学家格雷戈里·贝特森（Gregory Bateson）将信息定义为“生异之异（the difference that makes a difference）”。换句话说，信息寓于我们选择用来表示意义的差异之中。例如，在原始的电气计算器中，信息是以电流流通与否造成的灯亮灯灭来表示的。信号的电压、电流方向是无关的。相关的只是导线载送两种可能的信号之一，其中一种信号是使灯亮起来。我们选来表示意义的差异——按贝特森的定义，生异之异——就是电流的流通与否。贝特森的定义很精辟，但对我来说，一直含有更多的意义。在我四十年的生涯中，世界发生了极大的变化。我们所看到的大部分变化，无论是商业、政治、科学或哲学，无不由信息技术的发展所引起或促成。当今的世界，许多事物都已发生变异，但生异之异者始终是计算机。

近来，人们普遍把计算机看成是一种多媒体装置，能将各种形式的媒体——文本、图象、动画、声音综合或结合在一起。我感到这种肤浅看法大大低估了计算机的潜力。确实，计算机能综合处理各种媒体，但计算机的真正伟力在于它不仅处理概念的表现形式，而且能处理概念本身。令我惊异的不在于计算机能存储图书馆的浩瀚藏书量，而是计算机能察知本书所述的各种理念之间的关系——不在于计算机能显示飞鸟或星系自旋的照片，而是计算机能想像和预言创造了这些奇迹的物理定律将导致的结果。计算机不只是一台先进的计算器、或一架高级照相机、或一支神奇的画笔，计算机是一种能促进、拓展我们思维进程的工具，计算机是一种具有想像力的机器，可从我们为它输入的概念出发，演绎到我们人脑至今未到过的远方。

世纪人文系列丛书 (2008 年出版)

一、世纪文库

- 《国学概论》 章太炎撰 曹聚仁整理 汤志钧导读
《人间词话》 王国维撰 黄霖导读
《宋元戏曲史》 王国维撰 叶长海导读
《清史大纲》 萧一山撰 杜家骥导读
《明史讲义》 孟森撰 商传导读
《中国戏剧史》 徐慕云撰 殷高导读
《元西域人华化考》 陈垣撰 陈智超导读
《中国画学全史》 郑午昌撰 陈佩秋导读
《中西哲学之会通十四讲》 牟宗三撰 罗义俊编
《中国哲学的特质》 牟宗三撰 罗义俊编
《殷墟青铜器研究》 李济著
《中国民族的形成》 李济著
《民国政制史》 钱端升等著
《中国思想史纲》 侯外庐主编
《石头记索隐》 蔡元培著
《中国印刷术的发明及其影响》* 张秀民著
《中国古代文学史讲义》* 傅斯年著
《古典文学思想源流》* 刘大杰著
《中世纪哲学的精神》 [法] 吉尔松著 沈清松译
《功利主义》 [英] 约翰·穆勒著 徐大建译
《文化哲学》 [法] 阿尔贝特·施韦泽著 陈泽环译
《存在主义是一种人道主义》 [法] 让-保罗·萨特著 周煦良 汤永宽译
《我们关于外间世界的知识》 [英] 伯特兰·罗素著 陈启伟译
《单向度的人》 [美] 赫伯特·马尔库塞著 刘继译
《爱欲与文明》 [美] 赫伯特·马尔库塞著 黄勇 薛民译
《林中路》 [德] 马丁·海德格尔著 孙周兴译
《人的境况》* [美] 汉娜·阿伦特著 王寅丽译
《经济与社会》(上)* [德] 马克斯·韦伯著 阎克文译

二、袖珍经典

- 《骑士、妇女与教士》 [法] 乔治·杜比著 周嫔译
《论边沁与柯勒律治》* [英] 约翰·穆勒著 白利兵译

三、世纪前沿

- 《社会实在的建构》 [美] 约翰·R·塞尔著 李步楼译
《合作的复杂性》 [美] 罗伯特·阿克塞尔罗德著 梁捷 高笑梅等译 梁捷校
《身份、边界与社会联系》 [美] 查尔斯·蒂利著 谢岳译
《所有可能的世界——地理学思想史》(第四版) [美] 杰弗里·马丁著 成一农 王雪梅译
《犬儒主义与后现代性》 [英] 蒂莫西·贝维斯著 胡继华译
《媒体、市场与民主》 [美] 埃德温·贝克著 冯建三译
《话语、图形》 [法] 让-弗朗索瓦·利奥塔著 谢晶译
《社会运动 1768—2004》* [美] 查尔斯·蒂利著 胡位钧译
《资本主义精神——民族主义与经济增长》* [美] 里亚·格林菲尔德著 张京生 刘新义译

《社群主义的说服力》* [美] 菲利普·塞尔兹尼克著 马洪 李清伟译 李清伟校
《文化与抵抗——萨义德访谈录》* [美] 爱德华·萨义德 戴维·巴萨米安著 梁永安译
《多元文化公民权——一种有关少数民族权利的自由主义理论》* [加拿大] 威尔·金里卡著 杨立峰译

四、大学经典

《文心雕龙》* [南朝梁] 刘勰著 黄霖导读
《宋诗精华录》* [清] 陈衍编纂 高克勤导读
《明清八大家文钞》* [清] 王文濡编纂 赵伯陶导读
《国语》* [吴] 韦昭注 金良年导读 梁谷整理
《战国策》* [汉] 刘向编订 明洁导读 明洁整理
《贞观政要》* [唐] 吴兢著 [元] 戈直集注 裴汝诚导读 紫剑整理
《史通》* [唐] 刘知几著 [清] 浦起龙通释 李永圻 张耕华导读 李永圻 张耕华整理
《文史通义》* [清] 章学诚著 吕思勉评 李永圻 张耕华导读 李永圻 张耕华整理
《诗经》* [宋] 朱熹集传 [清] 方玉润评 朱杰人导读
《庄子》* [清] 王先谦集解 方勇导读 方勇整理
《校雠通义通解》* [清] 章学诚著 王重民通解 傅杰导读 田映曦补注

五、开放人文

(一) 插图本人文作品

《欧洲文艺复兴》(插图本) [美] 玛格丽特·L·金著 李平译

(二) 人物

《逻辑人生——哥德尔传》 [美] 约翰·L·卡斯蒂 [奥] 维尔纳·德波利著 刘晓力 叶闯译
《利维坦与空气泵——霍布斯、玻意耳与实验生活》 [美] 史蒂文·夏平 赛门·夏佛著 蔡佩君译
《黑塞画传》 [德] 沃尔克·米歇尔斯编 李士勋译
《不可思议的惊奇——格伦·古尔德的生平与艺术》* [加] 凯文·巴扎纳著 刘家蓁译
《知无涯者——拉马努金传》* [美] 罗伯特·卡尼格著 胡乐士 齐民友译

(三) 插图本外国文学名著

(四) 科学人文

《伊甸园之河》 [英] 理查德·道金斯 王直华 岳韧锋译 钟香臣校
《谁是造物主——自然界计划和目的新识》 [美] 乔治·威廉斯著 谢德秋译
《性趣探秘——人类性的进化》 [美] 贾里德·戴蒙德著 郭起浩 张明园译
《地球——我们输不起的实验室》 [美] 斯蒂芬·施奈德著 诸大建 周祖翼译
《人脑之谜》 [英] 苏珊·格林菲尔德著 杨雄里译
《细胞叛逆者——癌症的起源》 [美] 罗伯特·温伯格著 郭起浩译
《混沌七鉴——来自易学的永恒智慧》 [美] 约翰·布里格斯 [英] F·戴维·皮特著 陈忠 金纬译 张兴福 金纬校
《技术时代的人类心灵——工业社会的社会心理问题》 [德] 阿诺德·盖伦著 何兆武 何冰译 何兆武校
《造物——拯救地球生灵的呼吁》* [美] 爱德华·O·威尔逊著 马涛 沈炎 李博译
《真科学——它是什么,它指什么》* [英] 约翰·齐曼著 曾国屏 匡辉 张成岗译
《20世纪场论的概念发展》* [美] 曹天予著 吴新忠 李宏芳 李继堂译 桂起权校

- 《大自然的基本力——规范场的故事》* [美]黄克孙著 杨建邺译
《生物共生的行星——进化的新景观》* [美]林恩·马古利斯著 易凡译
《通灵芯片——计算机运作的简单原理》* [美]丹尼尔·希利斯著 崔良沂译
《六个数——塑造宇宙的深层力》* [英]马丁·里斯著 石云里译
《进化是什么》* [美]恩斯特·迈尔著 田湜译
《宇宙的本源——通向量子引力的三条途径》* [美]李·斯莫林著 李新洲 翟向华 刘道军译
《马桶的历史——管子工如何拯救文明》* [美]霍丁·卡特著 汤家芳译

[注]书名后加*表示新品种

目录

1	序言:石的奇迹
---	---------

1	第一章 通用件
18	第二章 万能积木
35	第三章 程序设计
52	第四章 图灵机的普适性
66	第五章 算法和探索法
79	第六章 存储:信息与密码
93	第七章 速度:并行计算机
105	第八章 自学习与自适应的计算机
118	第九章 跨越工程设计

133	致谢
-----	----