逻辑与人生：一颗数学巨星的陨落

2016-01-14 阿曼达·格夫特 [赛先生](javascript:void(0);) 赛先生

赛先生

微信号 iscientists

功能介绍 赛先生由百人传媒投资和创办。文小刚、刘克峰两位世界著名科学家担任主编。—— 上帝忘了给我们翅膀，于是，科学家带领我们飞翔。

**撰文 阿曼达·格夫特（Amanda Gefter)**

**配图 茱莉亚·博瑞里德(Julia Breckenreid)**

**翻译 胡家僖**

**审校 寒冬 吴兰**

沃尔特·皮茨（Walter Pitts）小时候经常受欺负。他出生在禁酒时期的底特律，家境并不宽裕。皮茨的父亲是一个锅炉制造商，为了发泄情绪常常对他拳打脚踢。邻居家的男孩子对他也不友好：1935年的一个下午，他们沿街对皮茨边追边打，逼得他躲进了图书馆才作罢。图书馆比家里好多了。这是他最自在的地方，他自学了希腊语、拉丁语、逻辑学和数学。但一回家，父亲就会强烈地坚持要他辍学去工作。图书馆外的世界混乱不堪，图书馆里的一切都是合理的。

皮茨不想再冒被打的风险，那天晚上，他不知不觉呆到了图书馆闭馆。他独自遨游在浩瀚的书海中，偶然翻到了伯特兰·罗素（Bertrand Russell）和阿尔弗雷德·怀特黑德（Alfred Whitehead）1910到1913年间编写的三卷本《数学原理》（*Principia Mathematica*）。这本书试图将所有的数学还原为纯粹的逻辑。皮茨如获至宝，他坐下来，一连三天呆在图书馆，读完了这套书的全部约2000页内容，并且还发现了几个错误。他决定将自己的发现告诉罗素，于是他写了一封信详细指出了这些错误。罗素不仅很快回了信，还对皮茨大加赞赏，邀请皮茨到剑桥大学做他的研究生。皮茨没办法答应罗素：他才12岁。三年后，一听说罗素要访问芝加哥大学，这个15岁出头的少年立即离家出走，直奔伊利诺伊。从那以后，他再没见过他的家人。

1923年，也就是沃尔特·皮茨出生的这一年，25岁的瓦伦·麦卡洛克（Warren McCulloch）也在研习《数学原理》。然而，他们的相似之处仅止于此。麦卡洛克来自一个截然不同的世界。他出生于东海岸一个由律师、医生、神学家和工程师组成的富裕家庭。从新泽西州一所私立男校毕业后，麦卡洛克到宾夕法尼亚州的哈弗福德学院学习数学，而后又在耶鲁大学学习哲学和心理学。1923年，他正在哥伦比亚大学学习实验美学，并且即将获得神经生理学医学学位。但是，麦卡洛克内心依然是一个哲学家。他想知道“知道”意味着什么。彼时，弗洛伊德刚刚出版《自我与本我》，精神分析学风头正盛。麦卡洛克没有买这本书。他确信，人类大脑神秘的功能与缺陷可以通过某种方式，归因于大脑神经元纯粹的机械性放电。

尽管两人分处社会经济谱线的两个极端，麦卡洛克和皮茨命中注定要一同生活、工作，甚至一起离开人世。在这条共同的道路上，他们将会一同创造第一部思维的机械理论、第一个神经科学的计算方法、现代计算机的逻辑设计，以及人工智能的核心支柱。但这个故事不只要讲述他们硕果累累的合作研究，其中还包括了他们的友谊、心灵的脆弱，以及逻辑能力在救赎混乱和不完美的世界时的局限。

  
沃尔特·皮茨 (1923-1969)：从无家可归的流浪者到MIT的神经科学先驱，再到孤僻的酗酒者。（来源：Science Source）

如果两人面对面站着，你很明显就能看出他们的不一样。麦卡洛克与皮茨相遇时已有42岁，是一个自信、灰眼睛、乱胡子，并且爱抽烟的哲学家。他离了威士忌和冰淇淋就不能活，从来不在凌晨4点之前睡觉。皮茨只是一个初出茅庐的18岁少年，身材矮小、害羞，长长的额头让他有些显老，胖胖的鸭脸上戴着一副眼镜。麦卡洛克是一个备受敬重的科学家，而皮茨刚离家出走，并且在街头流浪。他一直在芝加哥大学附近晃悠，靠一份卑微的工作维持生计，然后偷偷溜进教室听罗素的讲座。就在这里，他遇见了年轻的医学生杰罗姆·莱特文（Jerome Lettvin）。莱特文促成了皮茨与麦卡洛克的相识。他们一开口聊天，马上意识到彼此心中有一个共同的英雄：戈特弗里德·莱布尼兹（Gottfried Leibniz）。这位17世纪的哲学家曾试图创造人类思维的字母表：每一个字母代表一个概念，在一系列的逻辑规则的组合和控制下，这些字母可以计算所有知识。这，是一幅将不完美的外部世界转变成图书馆的理性胜地的宏伟蓝图。

麦卡洛克向皮茨解释，他正在尝试用莱布尼兹的一种逻辑演算将大脑模型化。《数学原理》启发了他。在这本书中，罗素和怀特黑德尝试告诉世人，数学可以建立在基本且不容置喙的逻辑之上。命题是他们论证的基本构成。这是一种最简单的陈述，非对即错。从这里开始，他们利用逻辑中最基本的操作，如连接（与）、分离（或），以及否定（非），将命题与更加复杂的网络相连。从这些简单的命题入手，他们推导出了现代数学的全部复杂性。

这让麦卡洛克开始对神经元进行思考。他知道，只有当刺激达到一个最小阈值后，大脑中的单个神经细胞才会放电。也就是说，在神经细胞发送电脉冲之前，必须要有足量的邻近神经细胞通过神经突触向其传递信号。突然，一个念头闪现在麦卡洛克脑中：这种构造是二元性的，神经元要么发射信号，要么不发射信号。他意识到，一个神经元信号就是一个命题，神经元似乎在像一个逻辑门一样运行，接收多种信号的输入，产生一个单独的输出信号。通过变更神经元的放电阈值，神经元可以执行“与”、“或”和“非”。

麦卡洛克刚刚阅读了英国数学家艾伦·图灵（Alan Turing）发表的一篇新论文。图灵证明，只要计算步骤有限，机器就有能力计算任何函数。他因此深信，大脑也不过是这样一种机器，神经网络可以利用逻辑编码进行计算。他认为，神经元能够通过逻辑规则相连，以此建立更为复杂的思维链——这与《数学原理》将所有命题联结起来，建立复杂的数学关系的方法一样。

麦卡洛克一向皮茨解释他的计划，皮茨立即心领神会。并且，皮茨知道应该运用哪些数学工具。兴奋的麦卡洛克邀请这位青年到芝加哥郊区的欣斯代尔与他和家人一同生活。欣斯代尔的这个家庭，是一个热闹、思想自由的波希米亚家庭。芝加哥的知识分子和文学精英经常到聚在这里，一起讨论诗歌和心理学；而当西班牙内战盟歌从留声机中响起，他们还会探讨一些激进的政治问题。但每到深夜，当妻子鲁克和三个孩子上床进入甜美的梦乡后，麦卡洛克和皮茨会各斟一杯威士忌，埋头投入他们的宏伟事业：尝试用神经元建立一个计算性的大脑。

麦卡洛克的研究在皮茨到来之前陷入了僵局。没有什么能够阻碍神经链上的神经元弯曲成环，一条神经链上最后一个神经元的输出，因此成了这条神经链上首个神经元的输入，构成一种首尾相连的神经网络。麦卡洛克对于如何建立这种网络的数学模型一筹莫展。从逻辑学的观点来看，环形结构与悖论非常相似：后果成了前因，影响成了原由。麦卡洛克将神经链上的每一个链接都贴上时间戳，以此来建立模型：如果第一个神经元在t时刻放电，下一个神经元则在t+1时刻放电，如此递进。然而，经历一个循环后，终点又成了起点，t+1突然出现在t之前。

皮茨知道如何解决这个难题。**他使用了模数学，这种方式能够处理像钟表时刻一样反复循环的数字。他向麦卡洛克证明，时间t+1出现在t之前根本不是悖论，因为在他的演算中，“之前”和“之后”失去了意义**。时间早已被完全移出了方程。如果某人看见闪电在天空闪烁，眼睛就会通过神经元构成的链向大脑发送信号。除非神经链为环形，从神经链中任一给定神经元开始追溯，你都能顺着信号的传输步骤，找到闪电发生的确切时间。如果神经链为环形，编码闪电的信息会在这个环中无休止打转。它与闪电发生的准确时间并没有任何联系。正如麦卡洛克所说，它成了“从时间中挣脱出的思想”，换言之，成了一段记忆。

到皮茨完成计算之时，他和麦卡洛克已经构建了一种思维的机械模型，并将计算第一次用在了大脑之上，首次提出大脑本质上是一个信息处理器。他们将简单的二元性神经元串成链和环，以此证明大脑可以实现每一个可能的逻辑操作。凡是图灵那个理论上的机器能计算的事物，大脑也都可以计算。那些不可思议的循环，使他们找到了大脑将信息抽提、处理，继而再抽提的方法，找到了大脑为萦绕其中的“想法”创造出丰富精妙的层级结构的方法——大脑的这种运行的过程，即是我们所说的“思考”。

麦卡洛克和皮茨在其开创性的论文《神经活动中内在思想的逻辑演算》（*“A Logical Calculus of Ideas Immanent in Nervous Activity”*）中描述了他们的发现，并将其发表在《数学生物物理学通报》（*Bulletin of Mathematical Biophysics*）上。他们的模型过分简化了生物学意义上的大脑，却成功地展示了一次概念验证。他们说，思想不能被弗洛伊德的神秘主义禁锢，不必陷入自我和本我间的斗争。“这是科学史上的第一次，” 麦卡洛克向一群哲学系的学生宣布道，“我们第一次知道了我们是如何‘知道’的。”

皮茨从麦卡洛克那里找到了他需要的一切：接纳、友谊、绝佳的智力搭档，以及他从未有过的父亲。尽管他在欣斯代尔生活的时间很短，这位离家者余生都将麦卡洛克的家当做自己的归属之地。麦卡洛克同样醉心于这段合作。在皮茨身上，麦卡洛克找到了相似的灵魂，他将皮茨视为自己的左膀右臂，并从皮茨那发现了一种拥有技术能力的思想，这种思想赋予了麦卡洛克的半成品观念以生命力。他在给皮茨的推荐信中说，“真希望我能与他终生相伴。”

皮茨很快就给20世纪另一位最为卓绝数学家、哲学家、控制论的创始人诺伯特·维纳（Norbert Wiener）留下了相似的印象。1943年，莱特文将皮茨带到了维纳在麻省理工学院的办公室。维纳并没有立即介绍自己，也没有跟他闲聊。他只是和皮茨一同走到黑板前，上面有一个他正在解决的数学证明。在他证明的过程中，皮茨不时地提出了一些问题和建议。据莱特文说，当他们写到第二块黑板时，维纳明显已经找到了新的得力助手。维纳后来写道，皮茨“毋庸置疑是我从未遇见过的、最厉害的年轻科学家……如果他不能成为本时代最超凡卓绝的两到三位科学家之一（不仅仅局限于美国，再大一点而言，应当是整个世界），我会感到无比惊讶。”

维纳对于皮茨的印象极为深刻。尽管他连高中都没有毕业，维纳仍然请他到麻省理工学院攻读数学博士学位，而这在芝加哥大学是明令禁止的。这是一个皮茨无法拒绝的邀请。1943年秋天，皮茨搬进了剑桥的公寓。他作为特殊人才被引进麻省理工学院，开始在一位世界上最有影响的科学家的指导下学习。经历了漫长的曲折之后，一个底特律蓝领阶层的孩子终于到达了这里。

维纳希望皮茨能将他的大脑模型变得更加实际。尽管皮茨和麦卡洛克已经取得了飞跃性的进步，他们的工作丝毫没有引起脑科学家的关注。这不仅因为他们采用的符号逻辑难以理解，还因为他们生硬且过于简化的模型并不能完全描述生物大脑的复杂性。然而，维纳却深知这一切的意义所在。他知道，只要这个模型能更加更实际，就会改变游戏的规则。他也意识到，皮茨的神经网络可能应用到人造机器中，开启他梦寐以求的控制论革命。维纳认为，如果皮茨打算为大脑中1000亿个相互连接的神经元构造一个真实模型，他还得用上自己的一些统计数据。统计和概率论是维纳的专长所在。毕竟，正是维纳发现了信息在数学上的精确定义：概率越高，熵值越高、信息内容越少。

开始在麻省理工学院的工作后，皮茨意识到，尽管遗传肯定要为所有的神经功能进行编码，我们的基因却无法预设大脑中数以万亿计的突触的连接方式。这需要巨量的信息才能办到，因此显然是站不住脚的。他认为情况一定是这样：大脑中的神经网络一开始在本质上是随机的，很可能只包含数量微不足道的信息（这种理论迄今为止仍存争议）。他提出，通过不断改变神经元的阈值，随机性将让位于有序性，信息就会出现。他决心使用统计力学来将这个过程模型化。维纳激动地鼓励他的研究，因为他知道，如果这样的模型能够用于机器，这台机器就拥有了学习能力。

“我现在一下明白了维纳说的大部分东西，这大概会是个了不起的发现。”皮茨在1943年12月，也就是在他到麻省理工的三个月后写给麦卡洛克的一封信中说道。他与维纳的工作是“建构统计力学上首个足够充分，并且可以在最可能的普遍意义上被人理解的讨论，如此一来，它就能容纳许多东西，比如可以解决神经生理学的微观规律衍生出的心理和统计问题，以及行为法则的问题……听起来是不是很妙？”

那年冬天，维纳带皮茨参加了一场由他和数学家及物理学家约翰·冯·诺依曼（John von Neumann）在普林斯顿大学组织的会议。会上，皮茨同样给冯·诺依曼留下了深刻印象。“控制论学家”群体由此诞生，维纳、皮茨、麦卡洛克、莱特文和冯·诺依曼都是这一团队的核心。曾经流浪接头的皮茨在这个精英群体中脱颖而出。“我们无法想象，论文能不经他修正和审批就发表出去。”麦卡洛克如是写道。 “（皮茨）无疑是团队中的天才，”莱特文说道， “他的化学和物理，以及历史、植物学等所有你能想到的学科的知识，都丰富得无人能比。你问他一个问题，会得到一本囊括全部相关知识的教科书……在他眼中，整个世界以一种复杂但又绝妙的方式联结在一起。”

1945年6月，冯·诺依曼执笔写下了一篇载入史册的文章。这篇题为《第一份关于EDVAC的报告草案》的（*“First Draft of a Report on the EDVAC”*）论文首次描述了一部能够存储程序的二进制计算机器，即现代计算机。EDVAC的前身ENIAC位于宾夕法尼亚，占地1800平方英尺，更像一个巨型的电子计算器而非一台计算机。人们可以对这些机器进行重编程，但重新连接所有的电线和开关会耗费若干操作员好几个星期的时间。冯·诺依曼意识到，他们或许没必要每运行一个新函数都将这台机器重新连接一次。如果可以将开关和电线的每一次布局变构抽象化，通过符号将它们编码为纯粹的信息，你就可以像倒入数据一样将它们导入计算机。唯一不同的是，现在的数据中将包括一些操控数据的程序。如此一来，无需进行耗时费力的重新连接，你就会拥有一台通用的图灵机。

为了实现这一目标，冯·诺依曼建议依照皮茨和麦卡洛克的神经网络，对计算机建模。他建议用真空管取代神经元扮演逻辑门的角色。将真空管严格按照皮茨麦卡洛克发现的顺序串在一起，就可以进行任何计算。为了将这些程序以数据的形式存储，计算机将需要一些新的东西：内存。皮茨的环在这里派上了用场。“一种原件能够自我刺激，并将这种刺激无限期地保留。”冯·诺依曼在他的报告中呼应了皮茨的观点，同时采用了皮茨的模数学。他详细介绍了这个新计算架构的各个方面。在整个报告中，他只引用一篇论文：麦卡洛克和皮茨的《一种逻辑演算》（*“A Logical Calculus”*）。

到1946年，皮茨已经与后来成为“机器感知之父”的麻省理工学生奥利弗·塞尔弗里奇（Oliver Selfridge）、后来的经济学家海曼·明斯基（Hyman Minsky）以及莱特文一同生活在波士顿的灯塔街（Beacon Street）。皮茨在麻省理工教授数理逻辑，并维纳一同从事大脑统计力学研究。此后的第二年，皮茨在第二届控制论会议上宣布，他正在撰写关于概率三维神经网络的博士论文。会议室里的科学家都懵了。“有野心”已不足以形容完成这项艰难的任务所需的数学能力。然而每个人都知道皮茨有自信完成这件事，他们都屏住呼吸，拭目以待。

麦卡洛克在写给哲学家卡尔纳·普鲁道夫（Rudolf Carnap）的一封信里列出了皮茨的才能。“他是科学家和学者之中最为博学的天才。他是一个优秀的染料化学家，一个卓越的哺乳动物学家，他了解莎草、蘑菇甚至来自新英格兰的鸟类。他可以通过神经解剖学和神经生理学在希腊语、拉丁语、意大利语、西班牙语、葡萄牙语和德语中的起源，学习这两门科学，因为只要需要，他能很快学会任何语言。电路理论、照明以及无线电路的实际焊接，他都能自己独立完成。有生以来，我从没有见过一个人能如此博学，并能将理论应用到实际。”连媒体都开始关注这位科学巨星。 1954年6月，《财富》杂志发表的一篇文章评选出了20个40岁以下做出了巨大贡献、最有才华的科学家，皮茨和克劳德·香农（Claude Shannon）、詹姆斯·沃森（James Watson）一同登榜。克服重重困难之后，沃尔特·皮茨成为科学巨星。

在此之前的几年中，皮茨曾在写给麦卡洛克的一封信中说道，“大约每周就会有那么一次，我会特别想家，想回来和你彻夜长谈。”功成名就的皮茨此时染上了乡愁。在他看来，故乡就是麦卡洛克。他开始觉得，和麦卡洛克共事会让他更快乐，更多产，更可能做出新成绩。同样的，少了这位左膀右臂，麦卡洛克似乎也不是非常顺利。

两人头顶的乌云突然散去。1952年，麻省理工学院的电子研究实验室副主任杰里·威斯纳（Jerry Wiesner）邀请麦卡洛克到麻省理工学院主管一个新的脑科学研究项目。麦卡洛克欣然接受了这个机会，因为这意味着他将与皮茨再度合作。他满心欢喜地放弃了全职教授的职位和欣斯代尔的大房子，退而求其次地接受了副研究员的头衔，以及剑桥的一个破旧公寓。这个新项目计划动员信息理论、神经生理学、统计力学和计算设备的全部力量，来研究大脑如何产生思想。莱特文和年轻的神经科学家帕特里克·沃尔（Patrick Wall）也加入麦卡洛克和皮茨的团队。他们的新研究总部位于瓦萨街20号楼，门口的标牌上写着：实验认识论。

皮茨和麦卡洛克再度合作，维纳和莱特文也从中助力，一切都好像为即将到来的进步和变革铺好了道路。神经科学、控制论、人工智能，计算机科学，一切都处在知识爆炸的边缘。唯有天空或人类的思维能够限制它们。

只有一个人对这次重聚感到不快：维纳的妻子。玛格丽特·维纳（Margaret Wiener）是一个控制欲极强的保守之人。她对麦卡洛克带给丈夫的影响极为不满。麦卡洛克从前会在他康涅狄格州旧莱姆的家庭农场里举行野餐会，宾客在这里自由交流思想，每个人都沉浸其中。麦卡洛克待在芝加哥还好，但他现在到剑桥来了，玛格丽特可受不了这个。她为此捏造了一个故事。她告诉维纳，他的女儿芭芭拉（Barbara）在住在麦卡洛克芝加哥的家里的那段时间被“麦卡洛克的男孩们”诱奸了。维纳勃然大怒，立即发电报给威斯纳：“请告诉（皮茨和莱特文），我跟他们，以及与你的项目从此一刀两断。这都是你一手造成的。维纳。”从此以后他再未与皮茨说过话，他甚至没有告诉皮茨这是为什么。

对皮茨而言，故事由此走向终结。维纳，这个在他生命如父亲一般的人，无缘无故地抛弃了他。在皮茨看来，这不只是失去了一个朋友的事；更糟糕的是，这不合逻辑。

然后就是那些青蛙。在麻省理工学院20号楼的地下室里，莱特文用一个装满蟋蟀的垃圾桶里饲养了一群青蛙。当时的生物学家认为，眼睛像一个感光片，能被动地记录下光点，并将这些光点一个个送往大脑，然而再由大脑进行繁重的“翻译”工作。莱特文决定将这种观念付诸实验，他打开青蛙的颅骨，把电极贴在它们视神经中的单根纤维上。

皮茨与莱特文：皮茨 和 Jerome 莱特文，以及视觉感知实验的对象（1959）。Wikipedia

皮茨、麦卡洛克和智利生物学家及哲学家温贝托·马图拉纳（Humberto Maturana）一道对青蛙进行了研究。他们让青蛙体验不同的视觉刺激，比如有明暗变化的光线，给它们显示其自然栖息地的彩色照片或是用磁力悬起来的人造苍蝇。然后，他们会记录青蛙的眼睛在发送信号给大脑之前测量到了什么。结果出乎所有人意料，眼睛并没有记录见到的事物，而是过滤和分析了一些与视觉特征有关的信息，比如对比度、曲率和运动。“眼睛向大脑传送的是一种经过高度组织和解读的信息。”他们在其发表于1959年的开创性论文《青蛙的眼睛向大脑传送了什么》（*“What the Frog’s Eye Tells the Frog’s Brain”*）中报道了这一观点。

实验的结果从根本上撼动了皮茨的世界观。信息并不是由大脑用准确的数学逻辑一个神经元一个神经元地计算出来的，眼睛中杂乱无章，但与之类似过程至少也承担了一部分的信息解读工作。“我们完成青蛙眼睛的研究后，他很明显地意识到，就算逻辑在这个过程中发挥了作用，它也并非如我们所想的那样承担了重要或核心的工作，”莱特文说道， “这让他失望透顶。虽然他永远不会承认，但这似乎加深了他在失去维纳后的绝望。”

一系列坏消息使皮茨与之抗争多年的抑郁倾向不断恶化。“我很痛苦，需要你的建议，”皮茨在一封写给麦卡洛克的信中写道，“过去的两到三年间，我已经注意到我有一种不断恶化的消沉和抑郁倾向。这让所有的积极价值从这个世界上销声匿迹，没有什么值得我为之奋斗，无论我做什么或者发生什么事，对我而言都无关紧要……”

换言之，皮茨在与他毕生追求的逻辑抗争。皮茨写道，他这种抑郁，或许“对于所有接受过大量逻辑教育的应用数学工作者来说是稀松平常的。这是一种因为无法相信人们口中的归纳原理或者自然齐一性原理所致的悲观情绪。既然人们不能证明、甚至不能赋予一种预设以可能性，说太阳明天应该升起来，我们就根本没办法相信它会升起来。”

如今，皮茨与维纳断绝了关系，他的绝望情绪变得致命了。他开始酗酒，逐渐疏远了朋友。获得博士学位时，他竟然拒绝在自己的论文上签名。他一把火烧掉了他的研究报告、笔记和论文。多年来的工作、所有人拭目以待的重要成果全部付之一炬，无价珍宝化为灰烬。威斯纳增加了对实验室的帮助，寄希望于莱特文能复原这些成果、哪怕是其中任何一小部分。但一切都已化为乌有。

麻省理工学院继续雇佣了皮茨，但只给他了个无关紧要的职位。他几乎不跟任何人说话，还经常失踪。“我们会几夜几夜地找他，” 莱特文说，“看他就这么毁了自己，简直太可怕了。”在某种程度上，他仍然是12岁的皮茨，仍然会受欺负，仍然是个离家出走的孩子，仍然在满是灰尘的图书馆里躲避整个世界。

皮茨与麦卡洛克一同为控制论和人工智能奠定了基础，使精神病学研究摆脱了弗洛伊德的精神分析，转向对思维的机械性理解。他们的研究显示，大脑可以进行计算，精神活动是一种信息处理过程。为了证明这个观点，他们揭示了机器的计算过程，为建设现代计算机体系提供了关键的灵感。由于他们的工作，神经科学、精神病学、计算机科学、数理逻辑、人工智能遵循莱布尼茨的预见，在历史上的某个时刻融为一体，人、机器、数字及意识都将信息当做通用货币来使用。世上那些表面上看起来截然不同的东西——大块的金属、大脑灰质团块、纸页上的墨痕，都能进行深度的交流与交换。

但他们的理论存在一个疏漏：符号化的抽象处理将世界变得一览无余，而大脑却并不这般运作。一旦一切还原成由逻辑支配的信息，实际的运行机制也就不再重要了——想要实现通用计算，你就得放弃本体论。冯·诺依曼是第一个意识到这个问题的人。他在写给维纳的一封信中表示了他的担忧，预见了人工智能和神经科学将分道扬镳。“在整合了图灵、皮茨和麦卡洛克的伟大贡献后，”他写道，“情况不仅没有好转，反而日益恶化。事实上，这些人都向世人展示了一种绝对且绝望的通用性：所有、任何事物......都会符合某种适当的机制——具体说是一种神经机制。就算这种机制是唯一和确切的，它也还可能是通用的。一个论据就可以推翻上述观点：如果不做微观或细胞学尺度的研究，以我们对生物体机制的了解，我们根本无发知道神经机制的更多细节。”

正是这种通用性，使得皮茨不可能做出一个实际的大脑模型，他的工作因此被掩没，也多少被脑科学家遗忘了。并且，青蛙的实验表明，以纯粹的逻辑、纯粹以脑为中心来看待思维的方法存在局限性。与简朴的逻辑相比，自然更青睐生命的混乱性。也许皮茨无法理解这样的选择。然而他不知道，尽管他对大脑的生物学理解行不通，却已经为数字计算时代的到来、机器学习的神经网络方法，以及所谓的心理主义哲学奠定了基础。但皮茨觉得自己一败涂地。

1969年4月21日，星期六。酗酒使得皮茨陷入震颤性谵妄，他用颤抖的手在波士顿以色列医院的病房里写了一封信，寄给在皮德·本特·布里格姆医院心脏重症监护病房接受治疗的麦卡洛克。信中写道：“我知道你的冠状动脉不怎么好……你身上连着许多传感器，传感器又连着面板和报警器，护士会一直盯着它们。这些东西让你没办法翻身。这无疑是控制论的表现，但我一点都高兴不起来，我感到无比悲伤。”皮茨自己也已经因为肝脏问题和黄疸病在医院待了三周。1969年的5月14日，沃尔特·皮茨在剑桥的一个公寓中独自离世，死因是食管静脉曲张出血，这是一种与肝纤维化有关的疾病。四个月以后，麦卡洛克也离开人世。就如两人中的任何一个若独立存在就不合逻辑一般，一个不停回旋的环断了。