

启发式解难：运筹学发展的下一个制高点*

Herbert A. Simon, Allen Newell 著，郑静静 译

原载：Operations Research, Vol.6, No.1(Jan.-Feb.,1958),pp.1-10

人们并不会感到惊讶的是：科学的发展及其在人类事务中的应用，经常需要多学科专业的结合。运筹学和管理科学是年轻的学科，它们还处在发展各自训练程序的初期；他们的先驱来自几乎所有的智力学科，有数学家、物理学家、生物学家、统计学家、经济学家和政治学家。

利用技术和这些领域的基础知识来改进行政组织的日常工作，从某种意义上说，是一种非常新的思想。“运筹学”和“管理科学”这些术语及与此相关的一些组织活动在过去的十五年里有发展。当然了，系统地将智力应用于管理的研究，这段历史还要久远得多。其中一次重大的先驱运动就是由 Frederick W. Taylor 领导的科学管理运动。

但是作为我们学科的守护神，我们大可以回顾距泰勒整整半个世纪之前出现的著名人物——Charles Babbage。Leonardo da Vinci 在他的生活工作中有力地证明了基础学科可以促进实践的发展及实践反哺科学的方式。他是当时最厉害的数学家之一，但是他却投身于制造业技术的发展，最值得提到的是数字计算机的创造（某种程度上它与现在的样式非常接近）。

运筹学家的这种精神、好奇心及处理人类事务各个方面无效性时的急躁，在 Babbage 的著作的每一页中都得到体现。我只提供一个例子：

在人们有效地利用时间方面，时钟在所有工具里占有很高的地位。它的多功能应用在大城镇一些显著的场所具有很多的优势。但是，它们在伦敦的位置却相当糟糕：一般的场所，譬如，高高尖塔的中部、狭窄道路的中间及拥挤的市区，除非有教堂矗立在街道两旁的建筑物中，否则看起来很令人不快。最合适挂时钟的地方是这样的：它以一定的高度投射到街上，每个朝向都有一个表盘，就像 Fleet 街道上 St. Dunstan 老教堂的时钟一样，这样两个方向的路人都可以直接看到时间。

我认为 Babbage 是一位电脑的发明者。因为 Babbage 和他的电脑将成为我今晚演讲的主角，我很想告诉各位一个真实的关于电脑历史的故事，它精选自 Babbage 的著作。我喜欢这个故事，因为它不仅描述了我关于我们研究领域专业之间相互联系的早期观点，而且当自然科学的杰出成就让我们感到相当尴尬时，给了我们这些失败者——譬如我自己（在“软”科

* 西蒙先生曾于 1957 年 11 月 14 日将该文发表在 the Twelfth National Meeting of the OPERATIONS RESEARCH SOCIETY OF AMERICA（匹兹堡，宾夕法尼亚州）上；该文是作者的合作成果。他们相信圣经创世纪 27：22 所提的：“声音是雅各的声音，手却是以撒的手。”

学领域学习，如经济学、政治学）——一些指导。正如你将看到那样，在这个故事里，物理学家及电气工程师对数字计算机的发明并没有做出很大的贡献；真正的发明家是经济学家亚当·斯密，两位数学家 Prony 和 Babbage 通过几个连续的发展阶段把他的思想转变成电脑的硬件。（也许，我该说明：法国织布工、以提花织机为代表的机器以及因此出现的穿孔卡片对电脑的发展也做出了部分贡献。）

Baggage 最初是用法语写作这个故事的，这里我们给出它的译文：

描述如下：政府议会聘请 M. de Prony 来构造圆的十进制刻度表、对数表及三角函数表，这些表不仅极其精确而且将把那些曾经被完成或是设计的算法构成最广大的和最重要的计算里程碑。从 1 到 200,000 的对数是对这项工作一个必要与关键的补充。M. Prony 相信，即使他与个或 4 个经验丰富的合作者在一起，用他在世的最长工作时间也不足以完成这项任务。他被这样的情绪困扰着，直到有一天，在书店里看到一本亚当·斯密 1776 年在伦敦出版的精美著作。他随意地翻开书来，看到第一章中涉及到劳动力的分工，并以造钉工厂作为例子。灵感突发，他构想出了把对数如同钉子一般写入研究成果的好方法，于是，他迫不及待的翻到第一页开始看。这时，在 Ecole Polytechniques，他做了一些报告，主题是关于差分方法及其在插值法中的应用的一些相关分析。他在乡下呆了一段日子后回到巴黎，实现了一个生产制造的计划。他在两个车间里独立地实施了同样的计算，作为相应的对照。

Prony 在数值表方面的大量研究，不仅让 Babbage 明白机器在电力作业阶段可以代替人力，而且也促使他开始着手设计与构造一台自动计算机器。尽管当时电力与电气设备都还没出现，尽管他后来依赖机器设备的行为使他完全走向失败，但是毫无疑问，他理解并发明了数字计算机，包括一个极其关键的思想——条件转移操作。

人们的知识以难以预料的方式发展，所有的科学与艺术对运筹学和管理科学特性的发展做出了的贡献，我们很难对这些想出一种更加合适的说明方式。

二

现在，让我们把目光转向未来，我想十分简明地罗列出我的主要论题。运筹学在可被归结为系统计算程序的管理决策方面做出了相当大的贡献。到此为止，标准程序并没有将科学技术应用到无法进行这样归纳的判断决策中去。过去三年中，通过复杂信息过程的性质的大体研究，人类判断式或启发式思维过程将从根本上改变这个事态。我们准备促成一个重大的进步，它使得数字计算机、数学工具和行为科学瞄准管理活动的核心——判断与直觉的训练，做出复杂决策的过程。

让我来清晰地阐述这个论题。首先我将描述我所看到的运筹学的发展现状，然后说明我为什么认为这个事态将引发巨大的改革。

在过去的二十年中，运筹学的飞速发展为工业和政府把握管理大型组织的复杂性提供了

一套十分重要的工具。这些工具包集中了智力世界的各个边缘的知识，其中包括数学、统计与概率论、计量经济学、电机工程、甚至生物学。这些外来的技术，比如线性规划、排队论、自动控制理论、博弈论、动态规划、边际分析、变量微积分以及信息论，正在帮助解决营业过程中的实际问题。

管理怀疑论者——尤其是敏感的怀疑论者——必须看到：即使不是所有的蓝图都需要使用那些被事实支持的新方法，但还是存在着大量有效的核心技术与应用。这些工具在大量的实证装置中取得了确实的成就，诸如“这些工具用在这里么？”一类的问题越来越少，取而代之的是“我们在哪里、怎么样才能有效地使用这些工具？”一类问题。生产与库存控制、计划与市场调研，这些传统领域正进入重要与快速的发展历程。

观察到这个重大的变化，以同样的精确度，我们发现管理活动的大量领域——更精确些说是大部分的领域，几乎没有受到运筹学或是管理科学的先进方法的影响。运筹学在解决我们称之为“良好结构”的管理问题方面的有效性得到很好的证明，但是，它却没有涉及到余下的相当一部分“非良好结构的问题”。

正如执行者们经常对运筹学家们指出的那样，问题在于对大部分重要高层的管理问题没有已知的程序化的方法可以利用。而且这些问题跟较确定性的中层管理环境也不同。运筹学技术在中层管理工作中的应用相当有效。由于缺乏程序化的技术，运筹学家们不得不诉诸于那些伴随管理工作的通识与人类智慧。执行者们也发现了在很多的情况下他们并不需要依赖数学家与电脑。

我试着更加精确的剖析良好结构与非良好结构问题二者的区别。它们将界定超越程序化工具无法解决的范范畴的边界。一定意义上，一个具有良好结构的问题必须满足以下条件：

- 1、它可以用数字变量、参数、向量等术语描述。
- 2、它的目标可用一个定义明确的函数表示，例如，*利润的最大值*或是*成本的最小值*。
- 3、模型可解，能拟定出求解的程序性步骤和求解方法，通过它可以找到并能够精确地描述的数值解。这些算法中最常见的例子，也是运筹学中非常重要的，比如说微积分和变量微积分的求最大化过程，线性规划算法——如分步进行与问题简化、蒙特卡罗技术等。

总之，那些可以明确规范与量化、并可以被已知的可行的计算方法解决的问题就称之为良好结构的问题。

那么，什么是非良好结构的问题呢？那些不属于良好结构的问题就是非良好结构的问题。譬如关键的变量根本就不能用数值表示，只是象征性的或是口头上的。一个起草员工请病假政策的管理者寻找的是语句而不是数值。第二，在日常生活中，很多时候目标函数的目的是模糊和不可量化的。譬如：我们该如何衡量一个教育体系的质量或是一个公共关系部门的效率？第三，仅仅靠算法无法解决很多——或是可以说绝大多数的实际问题。

如果我们承认组织生活的多因素性，我们就不得不承认执行者们每天面临的多数决策问题——尤其是多数相当重要的决策问题，更多地属于非良好结构问题，而不是良好结构的问题。而且，纵观运筹学和管理科学对管理工作做的所有贡献，我们可以发现它们在非良好结

构问题领域内并没有很大的进展。仍然有很多经验丰富的管理者仅仅依靠人为的判断与直觉做出决策。关于组织结构的设计这些基本决策的制定，则仍然是靠主观判断而不是靠科学；高级管理层的商业政策更多的是靠预感而不是靠计算。运筹学更多的是为工厂的经理和生产计划办事员服务，而不是为副总裁或是董事会服务。

我听说过运筹学家经常的被召集起来针对我所谓的非良好结构问题为高层管理者提供意见。但是，我们都意识到：我们之所以会受到召集，是因为我们被认为拥有一定程度的经历与常识，而不是出于对我们的专业工具——数学知识或其他手头经常做的研究——的信任。我想我们中大多数人都能很清楚地辨认出自己所扮演的角色——什么时候作为一个运筹学家，什么时候又作为管理者顾问。我确信我们中大多数的人一定希望看到这样的一天，对那些只能进行判断和猜测的问题，我们的科学可以提供一种合适的分析工具来解决。

我们必须意识到一个基本的现实，即：无论我们多么想利用科学知识提供的工具来解决问题，但是只有当这些工具可以应用的情形下我们才可以这样做。技术是科学的手和脚，科学所能及的限度是由它的范围来衡量的。望远镜是根据 Galileo 的科学研究发现了太阳黑子和木星的卫星，正如粒子加速器和量子力学的精密仪器是在原子物理学家的研究范围内才揭开了原子的内部微观世界一样。

在处理管理工作中的这些非良好结构的问题时，我们没有所需的数学工具——与量子力学相对应的判断工具。我们没有所需的发动机——离心分离机。在实验室里，利用实验方法观察组织行为，尽管我们在过去的十年里在这方面的发展有了很大的进步，但是我们还只仅仅入了门而已。

如果我们的科学延展到管理领域的各个方面，那么我们的工具与方法一定会扩大到这个范围。我认为在这个特殊的阶段，我们正是在学习这样的工具与方法，这是无可厚非的。

尽管运筹学是用来解决良好结构的问题，基础研究正揭开人们如何解决非良好结构问题的谜团。况且，我们已经开始学习如何使用电脑来解决这些问题，虽然还没有系统和有效的算法。至少在有限的范围内，我们现在还知道如何编写程序以便成功地演示这样的解难问题，和如何让计算机学会做这些事情。

总之，我们现在知道启发式解难的一些基本原理。通过它们，我们理解人们启发式过程，并在数字计算机上模拟这样的过程。直觉、洞察力和学习不再是我们所唯一拥有，任何一个大型的高速计算机也可以通过编程去拥有它们。

三

这里，我无法给出详细的证据来证实这些可以说是极其强硬的断言。但我必须指出的是，成功的启发式解难的电脑程序的例子是极其稀少的。O.G.Selfridge 和 G.P.Dinneen 做了最早期的努力：他们编写了一段程序，使得电脑可以学习区分符号“A”和符号“O”。那些在文献里描述的比较完整的程序使得电脑能够为数学定理寻找证据——不仅为简单的运算法则校验证明，而且执行那些寻求证明的科学家的创造力与直觉。这个程序也一直用来预测当人们需要

解决这样的问题时的行为。这个程序是 Allen Newell, J.C.Shaw 和我在卡内基信息技术学院和兰德公司共同开发的。

其他研究中心在大体相同的方向（指人类的行为，如语言翻译、下国际象棋、工程设计、音乐制作、模式认知）也作了很多的研究。至少，有的电脑可以根据客户的特定需求为工业生产设计出最终的小型标准电动发动机，有的电脑可以把游戏玩得相当好，还有一些电脑初步了解了国际象棋。在伊利诺斯州大学，我相信 Illiac 使用了 Palestrina 的旋律来编写乐曲；最近，一位杰出的鉴赏家告诉我这篇作曲从审美角度来说事实非常有意思的。

让我尽可能具体地对我关于现阶段与未来启发式解难理论的描述做个总结。

现阶段——1957年：

- 1、数字计算机可以在没有现成定理的条件下解决特定的启发式解难问题；
- 2、它们解决的过程与人类解决问题的过程十分相似；
- 3、在限制条件内，数字计算机学会在多次实践的基础上改进它们的程序。它可以通过记忆特殊的成功模式，也可以通过与人类学习相仿过程来自我调整程序。

基于这些发展及这个领域研究步伐的不断加速，我很乐意做出以下在接下来十年内可以实现的预测：

- 1、在十年之内，除非数字计算机被禁止参与比赛，否则它一定会成为国际象棋比赛冠军；
- 2、在十年之内，数字计算机将发现并证明一个新的重要的数学定理；
- 3、在十年之内，数字计算机写出来的乐曲将被鉴赏家们接受，并会被认为具有相当的审美价值；
- 4、在十年之内，心理学的大多数理论将会采取程序的形式，或是对电脑程序特性的定性描述。

如果这些预测在核幻想和未来的星际旅行时代成为可能的话，我想你们是不会感到惊讶或是震惊的。简言之，我的意思是现在世界上已经存在能思考、能学习和能创造的机器了。而且，在可预期的未来中，它们的这些能力将会飞速增强，直到它们可以解决的问题的范围与人们智力应用的范围同步扩张。

这些发展意味着什么呢？至少以下三点是十分明显的：

- 1、越来越多的机器将会代替人力来解决非良好结构的问题，就像现在机器被越来越多地用来解决良好结构的问题一样。
- 2、一些机器将会解决大量的、困难的、人类也无法解决的非良好结构的问题。（这就相当于现行计算机对解决超出手算范围的偏微分方程的应用那样。）
- 3、启发式解难的研究将在理解人们思想的方面得到应用。启发式程序有助于人们实现古老的命令：认识你自己！这样，你就可以利用知识的进步来造福于人类，而不是毁灭人类。

现在我要对这些发展实现的速度做个估计，我们用原子能做一个贴切的、有意义的类比吧。原子能有三点启示：（1）能源的产生到替代、增强源于传统的燃料；（2）至今未实现的能源的富集（起初和平的应用好像与原子内部结构的学习没有关联）；（3）通过追踪放射性

物质来学习物理与生物过程。做这样的类比主要是出于这样的考虑，即：电脑和原子能的首次有效性应用都是以经济核算为依据的，而其他两个要点则主要是基于技术的可行性。

只有当平均每单位能源产生的成本对传统工厂具有竞争性的时候，原子能才可能替代传统燃料。同理，只有当计算机解难能力的每单位成本对执行经理的成本具有竞争力时，计算机的启发式解难行为才会替代执行经理。基于可得的数据，对二者做出预测并不简单，但是如果可能，它们极其可能会有步骤地得以实现。

启发式解难的研究所带来的巨大影响离我们越来越近了（它既不是使我们能够解决比现在更加困难的问题，也不是告诉我们天才是如何解决问题的）。与原子能例子相似，“它的成本是多少？”这样的问题越来越少，取而代之的是“我们能做什么？”一类的问题。把启发式程序从多产的科学家转变为学者，使科学家成为一个问题解决专家。这可不是一个微不足道的或是无需花钱的过程。一般来说，这样做需要 20 多年的教育努力，而且常常遭遇失败。把被证明是有效的解难程序复制到另一台电脑上是小菜一碟。如果电脑也有思想的话，我们能够像印刷书本一样简单的复制这些思想。

如果你仍然觉得我所说的对你来说是遥远的、理论性的，那我就想再次用 Charles Babbage 的例子来提醒你：他总是站在现实的基础上，同时牢记向未来展望，预测未来事务状态的重要性。

也许对于那些从哲学角度冷静思考的人来说，这些对未来的预期似乎与过去的历史关联渺茫……

即使到现在，最早的诗人迫使希腊勇士为保护自己脆弱的皮肤而被囚禁；或者是最近时代里拉普兰术士卖给被迷惑的船员的东西；这些幻想或欺骗的不真实的产物，从隐晦的科学角度来说，遵循更加神圣的符咒：不受约束的诗人和先知者成为文明人中顺从的奴隶。

经过一些年的考验，讽刺作家的疯狂想象力也不是无与伦比的：就像是对勒普泰岛学院的嘲讽一般，光线几乎都来自太阳，以鱼儿无法生存为代价；火灾由安全灯引发；机器被教会了计数而不是诗歌。

或许现在我该对我的论点做个简要的总结，以结束我的发言。直到现在，运筹学和管理科学通过算数的方法来解决良好结构问题时很大程度上被它们工具的性质所限制。随着近来我们对启发式过程的理解及数字计算机模拟的发展，科学地处理非良好结构的问题是可能的，它使得电脑与人们思维共同扩张。

18 和 19 世纪的能源革命迫使人们不得不重新思考自己的角色，因为现在机器的能力与速度已远远超过了人类的能力与速度。同样，启发式解难的革命也将迫使人们不得不思考自己的角色，因为机器的智力已经超过人类的智力与效率。幸运的是，这场新的革命同时会让人们更加深刻的理解自己大脑的工作结构及工作方式。

后一个革命的影响一定会远远超过能源革命，这只是我个人的希望——在人们学会怎样离开星球之前，人们就已经知道自己的目的地了。

译者单位：浙江大学管理学院

邮政编码：310058