

WL

现代物理科学研究丛书

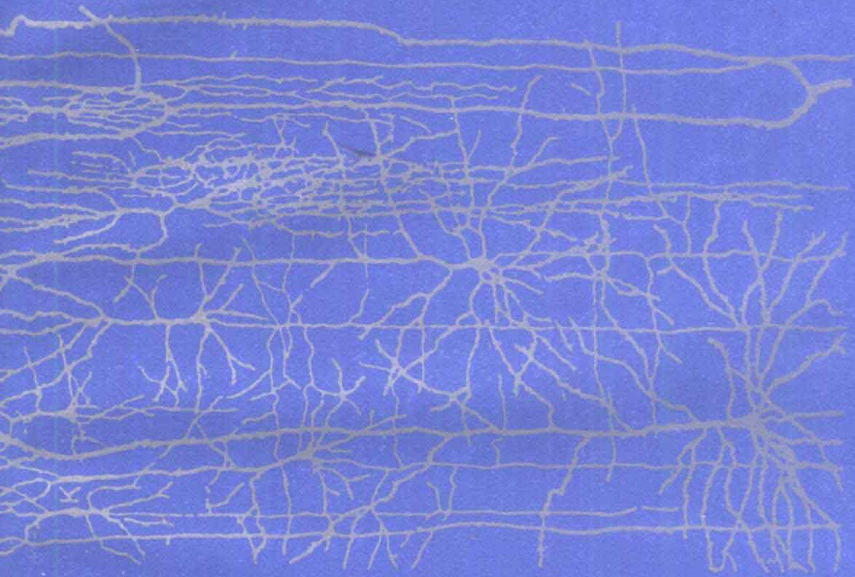


JIE GOU  
WEN DING XING  
YU XING TAI  
FA SHENG XUE

■ [法]雷内·托姆 著

结构稳定性与  
形态发生学

■ 四川教育出版社



# 结构稳定性与形态发生学

[法]雷内·托姆著

四川教育出版社 一九九二年·成都

现代物理科学研究丛书

009588

(川) 新登字005号

责任编辑：赵壁辉

封面设计：何一兵

现代物理科学研究丛书

**结构稳定性与形态发生学** [法]雷内·托姆 著

四川教育出版社出版发行

(成都盐道街三号)

四川省新华书店经销

七二三四工厂印刷

开本850×1168毫米 1/32 印张15.25 插页7 字数300千

1992年9月第一版

1992年9月第一次印刷

印数：1—2360册

ISBN7—5408—1707—0 / G·1630

定价：8.60元

## 内容提要

---

突变论的创建,被世界科学界誉为自牛顿-莱布尼兹创立微积分以来,数学界翘首以待的一次重大的革命性发现。突变论与耗散结构论、协同学并称为当代前沿科学中的“新三论”,它已经并将继续引起科学、技术、哲学与方法论等诸领域的深刻变化。

荣获国际数学界最高奖——菲尔兹奖的著名法国科学家R.托姆于1972年创立突变理论,其主要研究成果汇集于本书中。本书是在世界科学界享有极高声誉的经典名著,它奠定了突变理论的坚实基础,指明建立模型的一般方法,提出定性分析和定量分析之间的互补关系,为研究自然界和人类社会中大量存在的不连续现象提供了强有力的研究方法和数学工具,加深了人们对自然界中突变现象和绚丽多彩、千变万化的各种形态及其形成本质的认识。

本书所提供的翔实的分析与论证材料对于从事人类科学(社会学、军事学、语言学等),硬科学(力学、光学、物理学、工程学等)和软科学(形态发生学、生态学、胚胎学、免疫学、脑功能、心理学等)的广大科技工作者、大专院校广大师生具有重要参考价值。

T.15/01

# 前 言

---

现代物理科学取得了长足的进展。人类对物质世界的认识，远不是过去那样的单一和肤浅。在它的前沿，物理学自身的交叉使传统的分类逐渐失去原有的意义；这门“硬科学”也正向着其它学科，甚至于社会科学推进，迫使那些早先从事这些科学的人接受新的更严格的科学规范。可以预料，物理学将改变更多的领域，“哲学家们不懂得相对论和量子力学就不能讲述‘时间’的日子已为期不远”。为了介绍物理学的这些新动向、新观点、新方法……这套丛书将择要组织其中若干自成格局的专著、文集，重点介绍物理学与其它学科间的交叉、综合。它将是广大读者窥视飞速发展的现代物理科学的窗口。

## 出版者的话

---

此书是遵照作者R.托姆 (René Thom) 的意愿以中文形式出版的。当R.托姆得知他的这本专著“*Structural Stability and Morphogenesis: An Outline of a General Theory of Models*”译为中文时，他怀着真挚友好的感情写道：“在老子的理论中，有很大一部分是关于突变理论的启蒙论述，我相信在今天的广大中国读者中，仍然会有许多喜欢这个学说的科学天才。我希望通过这本书，他们将会了解突变理论是如何证实这些源于中国的古老学说的。”

本书由赵松年、熊小芸、刘子立、高千翻译，姚国正、于允贤校对。在翻译过程中R.托姆曾多次予以帮助和鼓励，还请他的老朋友、著名科学家、中国科学院学部委员吴文俊先生给以具体的关心、指导。著名科学家、中国科学院学部委员曾庆存教授、汪云九研究员等对本书的翻译也给予了帮助和支持。在此书出版之际，我们对作者、译校者的辛勤工作和热情支持致以诚挚的谢意，对支持和帮助过我们的其他同志表示衷心感谢。对于本书的不足之处，诚恳希望读者和各界专家批评指正。

出版者

一九九一年十一月

## 译校者的话

---

突变理论 (Catastrophe Theory) 是新近诞生的一门边缘学科，也是一门发展迅速且有重大理论与实际意义的学科。

著名的法国数学家R·Thom于1972年在《结构稳定性与形态发生学》一书中，提出并系统地阐述了“突变理论”，从而引起了国际学术界的广泛注意。著名数学家E·C·Zeeman等人将这一理论用于社会学、生物学、医学和胚胎发育等方面，取得了很多成果。

概而言之，Thom创建了突变理论，证明了控制因素不多于4个，则突变模型可归结为7种基本类型，并对这些突变进行了分类，在实际应用方面也进行了一定的研究，而Zeeman则对突变理论的应用和推广作出了重要贡献，他设计了突变机构，证明了突变理论的正确性和反映自然界突变现象的真实性。在突变模型的运用方面，Zeeman等人作了大量研究工作。Thom, Zeeman认为：微积分模型解释了光滑而连续变化的现象；突变理论则描述了自然界中大量存在的不连续的突然变化的现象。也就是说，能用微分方程描述的对象运动特征是连续的、渐变的；微分方程需要一个连续的和光滑的函数或者可微函数作为它的解。但是，社会科学、生物科学是人类所面临的最复杂的科学领域，除

了连续的渐变的过程外，大量存在的是不连续的、突变的过程，就是说环境条件、控制因素的渐变能引起状态的突变。例如，DNA的转位因子、裂脑人的行为、生物种群的消长与生灭过程、人的情绪波动、动物的进攻与逃跑行为等等，都是包含突变在内的复杂的生物学过程，用微分方程描述这些过程遇到了难以克服的困难。这个事实说明，在所谓“软科学”的研究中，不仅需要目前已有的数学工具和描述方法，而且更需要提出某些新的数学工具来描述已有数学工具力所不及的许多现象，建立必要的模型，作出适当的预测。

突变理论正是在这种情况下产生的。它以拓扑学为基础，研究系统在平衡状态下临界点的性态，描述由逐渐变化的力量或运动而导致突然发生变化的现象，弥补了微分方程描述方法的不足。

Thom, Zeeman作为很有建树的拓扑学家，很自然地将拓扑学的研究方法运用到突变理论中来。在建立和解释模型时，他们运用了微分同胚概念，总结出突变模型的6个特点，即：突跳、滞后、发散、不可达性、双模态与多径性。在生物学的应用中，在著名的动物行为学家、诺贝尔生理或医学奖获得者K·Lorenz研究工作的基础上，建立了动物的进攻与逃跑模型，预测了恐惧与发怒这两个控制因素如何影响动物行为状态的变化。

突变理论在物理学，工程学方面的应用，例如，舰船的稳定性、弹性梁的断裂、理想气体的相变、大气环流多重平衡态的相互转换等，通过突变模型的建立与分析，已经揭示出一些新的性质。其实这并不是突变理论的主要应用领域，其主要应用领域在生物学、社会学、医学和心理学方面。

自然界充满了突然变化的现象。当人们经历了像地震那样大



规模的灾难性突变的震撼之后，对于由逐渐变化的因素引起突然变化的后果就有了切身体会。

Thom, Zeeman, Poston以及Arnold提出并阐明了定性理论与定量理论的互补关系，说明定性理论或拓扑特性是“软科学”（生物学、社会学、心理学、决策过程等领域）的基本特征。在大脑与视觉的拓扑特性的研究中所取得的重要结果充分说明，拓扑特性是“软科学”的基本特征之一。

突变理论创立之初，在数学界与生物学界曾引起过广泛而激烈的争论。以Sussman和Zahler（还有G.B.Kolata）为代表的主要反对者不同意上述观点，他们在《突变理论在社会学与生物学中的应用：批判》及《突变理论：初步的批判研究》等文章中，对突变理论提出了强烈的反对意见。他们认为突变理论学家的证明不严格，用词含糊，一词多义，图形多于方程，应用模型不可靠，等等。这主要是反对者们尚未认识到，像生物学这样的科学领域中大量存在的是非连续的、突然变化的现象，它已不能只靠某些定量关系和连续过程加以描述。生物信息和行为都具有拓扑学特征，而反对者们却不同意突变理论以拓扑学方式应用于生物学与社会学。由于这场争论，吸引了一大批国际上知名的数学家和生物学家转向突变理论的研究，从而促进了这门新学科的迅速发展。不过，突变理论从创立到现在仅仅十余年时间，理论的运用、模型的建立和解释难免有不足之处，所以还需要进行大量的探索工作。正如Sussman和Zahler所指出的：一种数学理论，不论它好到什么程度，都不能代替对世界上客观事实的艰苦研究。

因为争论的焦点在于实际应用，特别是生物模型的建立、拓扑特性的研究方面。为了推动突变理论在生物学方面的应用，必

须对生物学对象作深入细致的研究探索，寻找出主要的控制因素与行为状态之间的关系，才有可能建立有价值的模型。

对于生物学来说，有许多问题仍然处于描述阶段，还不能解释或说明这类问题为什么会产生，过程为什么是这样而不是那样，等等。突变理论所建立的模型是描述性的，通过模型可以了解控制因素与状态之间的基本关系。不过这里应当指出，突变理论所揭示的是生物学的整体特性，要想深入了解事物的本质，还需要深入研究每一个具体的细节，否则，单凭整体特性来解释事物是不够完备的。

生物学中的信息显然具有拓扑特性，在总体上表现出规律性，但是仅此还不能说已经完全掌握了这些规律，还必须研究每一个局部和细节，与拓扑的整体特性相互补。

我们已经说过，在“硬科学”中普遍存在着突变现象，用突变理论研究这些现象可能揭示出许多奇特的、由非线性因素决定的、更为本质的奇妙特性，不过，正如R. Thom本人所预见到的，突变理论最大的长处是在生物科学、社会科学方面的应用。著名生物学家D'Arcy Thompson在研究发育与形态形成过程时，利用变换方法，也就是简单的微分同胚变换，显示了有机体种群的相似性，而相似性则是一种拓扑特性。因此，生物体的发育过程可以看作是一系列的拓扑变换过程，如果把化学因素与物理因素作为控制变量，生物学状态作为状态变量，就能构成一个  $R^3$  空间。在发育过程中，各种有机体都表现出一种特有的稳定性，例如人体各部分组织的数目、位置与比例都显示出稳定性。在拓扑学的意义下，这些具有极大稳定性的量就可以当作拓扑不变量，同时在整体上表现出结构稳定性。因此可以这样认为，用拓扑变换描述的是复杂的结构，用微分方程描述的是一个复杂的过

程。

人们也许会很自然地产生这样一个疑问：生物界的突变仅仅是一种一般性的现象呢，还是一种具有本质性的表现？我们在这里以概括的方式回答这个问题。

突变，是生物界尤其是生命科学中一种基本的特性。诺贝尔生理或医学奖获得者Mc Clintock在40年代研究玉米的遗传现象时，发现了跳跃基因（或称转位因子）。她在研究染色体一再遭到断裂的玉米植株的颜色和色素分布的遗传性时，发现有些基因在不规则的时间内表现活力，或停止表现活力。因为其中有些基因同时控制玉米粒的色素和植株颜色，所以出现一些带花斑的籽粒，在无色的背景上呈现色素形成的小块。在以后的各代中继续出现色彩斑驳的类型。Mc Clintock专心致志地研究了许多代玉米植株后得出结论：这些彩斑变异是特殊基因单位活动的结果，这些基因称为控制因子。它能从不同的染色体的一个座位转移到另一个座位，犹如生物开关开启或关闭基因。

事实上，转位因子是DNA片断，其特点是能在染色体之间来回转移，使染色体发生重组，同时它也是DNA断裂和接合的场所。在基因中插入一段DNA将引起基因的突变，插入的DNA片断称作IS因子。

基因突变，转位因子的发现说明，基因是运动着的，突变是自然界的普遍规律。

在发现癌基因之后，基因的突变已是一个确定无疑的事实了，目前建立的癌分子模型正是以基因突变为基础的。癌基本上是由两种作用造成的，即致癌基因的激活和其它细胞基因活性的修饰，后者是使激活的致癌基因执行其转化功能所必须的。

从生物进化的意义上看，癌显然是基因的突变，而不是进化

的结果。利用突变理论能够描述癌的基本性态，这时可以选择癌基因的激活程度和细胞蛋白质的改变程度作为控制因素，以癌细胞基因的有序性被破坏的程度作为状态变量，构成突变模型。

在免疫学这样一个既是基础又十分活跃的生物医学研究领域，利用突变理论探讨并建立B细胞刺激与原发反应的模型的工作也已取得进展。

突变理论的应用研究是多方面的，在此不拟一一列举。可以认为，生物学中最基本的问题是生物信息的传递、抽提或识别。在这里，信息是包括图象在内的广义信息，除了定量特性之外，还应有其拓扑特性。例如，免疫细胞是怎样识别抗原的呢？为什么它不能识别癌细胞呢？（利根川进正是为了回答这个问题而进行探索，取得了重大突破，并因而荣获1987年诺贝尔生理或医学奖。）人体各种细胞是怎样互相识别并交换、传递信息的呢？诸如这类问题一旦阐明，人类彻底认识自身的日子也就为期不远了。

生物结构中的许多成分，例如细胞，神经元，DNA等等，都是非连续的量，或者说是离散的量。显然，它们从一种状态到另一种状态的变化，将必然是突变的。研究突变的规律，创立新的描述方法，建立合理的模型，作出正确的预测，是突变理论的重要研究课题。

现在，人们已经认识到，未来的世纪是以生物学作为前沿科学的时代。

信息论，控制论和计算机技术已经渗透到生物学的研究之中；模拟人类大脑神经网络系统信息处理过程的联络机已经出现，并极大地推动了物理学，电子学，人工智能以及计算机科学本身的迅速发展。耗散结构论、协同论和突变论等新兴的科学理论，是变革年代的科学。它们在我国科技领域激起的探索大自

然、追求科学真理的热情正在高涨，其研究工作正在稳步地向纵深发展，并随之在哲学，方法论，社会结构和决策本质等与国家经济建设息息相关的重要领域引起了深刻的变化，激励人们在更高的层次上探索和追求。

在描述生命现象时，巨大的神经元数目，心理与性格的多样性，突变形式的千差万别，不是以往的传统数学方法所能胜任的。微积分建立在极限概念的基础之上，它不适合描述非连续的突变过程，因此，突变理论在生物学的应用方面，有着明显的优势和长处。只是生物对象的势函数往往很难用解析表达式求出，影响行为状态的因素太多，不易选定合适的控制变量，加之对所研究的对象还必须进行深入细致的探索研究，这一切都给突变理论的应用设置了障碍。解决面临的这些问题，往往不是个别学科所能胜任的，为此，需要多学科的相互渗透和协作。有志于将突变理论用于生物科学，物理科学与工程科学中去的研究者，应当深入钻研有关的专门知识，为揭示某种规律、建立合理的模型创造条件。创造性的科研工作总是从认识特殊事物开始，然后再扩大到对一般事物的认识的。如果没有对特殊对象深入的钻研，仅仅凭借像信息论、控制论所提供的系统工程学方法去综述一些共同性的特征，是无论如何不会对特殊事物的认识获得深刻结果的，突变理论也不例外。

突变理论以生物学、行为科学作为研究对象，这是一个巨大而艰难的任务。突变理论揭示了有机体行为状态的拓扑特性，说明在这些“软”科学的探索中，定性性态是非常重要而基本的性质。

有机体的行为状态、各种细胞在有机体内的协调、信息的传递与识别、脑功能的研究，在宏观上也都是突变理论的研究任

务。

突变理论为生物学家提供了一个强有力的方法和工具；生物学为突变理论的应用提供了良好的机会和场所，当这两方面紧密结合起来的时候，人们对自然界和对自身的认识就会深入一步，这无疑将说明，突变理论所描述的突变特性是自然界的基本特性之一。

当 R.Thom 得知他的专著 “Structural Stability and Morphogenesis; An Outline of a General Theory of Models” ( “Stabilité Structurelle Et Morphogénèse; Essai d'une théorie générale des modèles” ) 被译成中文时，以对中国的辩证哲学思想体系的崇敬和对广大的中国读者真挚友好的感情写道：“在老子的理论中，有很大一部分是关于突变理论的启蒙论述，我相信在今天广大的中国读者中，仍然会有许多喜欢这个学说的科学天才。我希望通过这本书，他们将会了解突变理论是如何证实这些源于中国的古老学说的。”

R.Thom 是世界著名的科学家，他的这本经典著作在世界科学界享有极高的声誉。突变理论所研究的是一切可能包含突变的过程、状态和结构。该专著的前半部分以深入浅出的方式给出了突变理论的基本内容，建立模型的一般方法；后半部分广泛地讨论了突变理论的各种实际应用，尤其是第十三章，讨论了社会、语言、思维、智能等前沿交叉学科，其中所包含的创见至今依然激动人心。

当我们将这本世界名著奉献给广大的中国读者时，我们希望无论是从事数理化科学的、工程技术科学的，或是从事生物医学、社会学、心理学和其他软科学研究的广大科技工作者们，都能从这本原著中领会突变理论的基本内容，掌握它的精髓，并在自

己的工作中加以应用，从而为推动这一学科在国内的发展作出贡献。

在本书的翻译过程中，R. Thom 曾经多次予以热情帮助和鼓励，还请他的老朋友、著名科学家、中国科学院学部委员、系统科学研究所所长吴文俊先生对本书的翻译给予关心指导。著名科学家、中国科学院学部委员、大气物理研究所所长曾庆存教授对本书的翻译给予了热情的支持和关心；生物物理研究所从事视觉与大脑信息加工研究的专家汪云九研究员对本书的翻译非常关注，使翻译得以顺利进行。中文版能得以出版，还与国务院发展中心国际技术经济研究所上海分所刘洪副研究员的帮助分不开。他们对本书科学价值予以了难能可贵的高度重视。我们相信，广大读者会和我们一样，对那些对于本书在国内翻译出版作出贡献的人表示衷心的感谢。

目前，突变理论仍处于发展的初期，学术用语与专业名词尚无统一规范，翻译中的不当之处在所难免，恳请读者不吝指正。

### 译校者

1991年11月10日于北京

中国科学院 大气物理研究所  
生物物理研究所

## 中文版序

---

我很高兴向中国读者介绍《结构稳定性与形态发生学》的中文译本。在此以前，中国读者恐怕只能通过法文版或英文版才能了解这本经典著作。

在本书出版后的10年间，数学方面特别是奇点理论有了重大进展，这主要归功于V.I. Arnold学派的贡献。本书提出了一种建立模型的新方法，其后的几年中，瓦维克大学的E.C. Zeeman把这种方法用于许多不同的科学领域，显示出广泛的前景和可能性。

我写的这本书虽然不会使纯数学家感到完全满意，但是在为解释自然形态而提出的许多观点方面，本书是非常有意义的，因为它提出了许多尚未解决的科学问题。

我们仅举一个例子，就是波的破碎与双曲脐点的判别问题，还远未被这一领域的专家们完全接受——因为运用流体力学方程并不能阐明奇点的存在。其实这并不奇怪，因为我们知道，突变理论的观点基本上是定性的，而定量的情况很少。

在突变理论创立初期，即1975年至1976年，曾有过一场激烈的争论，使人们确信作为理论的主要工具的函数奇点展开定理，其特性基本上是点状的，而不能预言它是定量的。相反，定性特



性的运用，尽管往往十分微妙，但本质上是合理的、可行的。

熟悉道教古老理论的中国读者，大概不会对定性特征感到惊奇：因为“阴”与“阳”、发射与接收只是具有临界值的同一条曲线对波浪形突变的相对贯穿。

在老子的理论中，有很大一部分是关于突变理论的启蒙论述。我相信，在今天广大的中国读者中，仍然会有许多喜欢这个学说的科学天才。我希望通过这本书，他们将会了解突变理论是如何证实这些源于中国的古老学说的。

我相信，中译本一定会保持法文版的鲜明的观点。愿中国读者现在仍能发现这部著作在当时唤起我的那种热忱。

René Thom

1988.10.20