

# 诺奖为何垂青复杂物理系统？混沌理论告诉你

□ 李家祥

日前，2021年诺贝尔物理学奖揭晓，一半授予日裔美籍著名气象学家真锅淑郎和德国著名气象学家克劳斯·哈塞尔曼两位教授，以表彰他们“为地球的气候进行物理建模，量化其可变性并可靠地预测全球变暖”。

诺奖官网这样解读，所有复杂系统都由许多相互作用的不同部分组成。几个世纪以来，物理学家一直在研究它们，但它们很难用数学方法来描述——系统中可能有数目众多的组件，也可能受偶然因素的支配。复杂系统也可能是混沌(chaotic)的，比如天气，初始数值的微小偏差会导致后期的巨大差异。今年的获奖者都获得有关此类系统及其长期发展的更多知识作出了贡献。

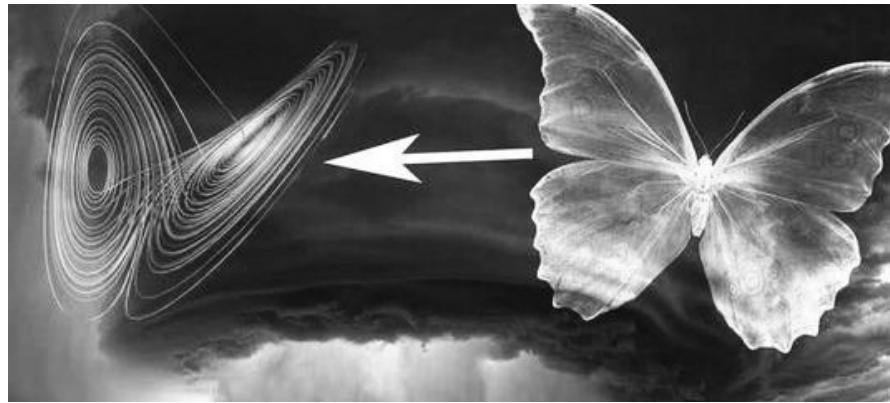
随着科学的发展及人们对世界认识的深入，混沌理论越来越被人们看作是复杂系统的一个重要理论，它在各个行业的广泛应用也逐渐受到人们的青睐。混沌理论是什么呢？它又有何用处？

其实，混沌理论是一种兼具质性思考与量化分析的方法，用来探讨动态系统中(如气候变化、化学反应、病毒感染、人口移动、社会行为等)必须用整体、连续而不是单一的数据关系才能加以解释和预测的行为。

这一理论是当代科学领域最引人注目、研究热点之一，它确定了偶然性和复杂性在自然科学和社会科学各不同领域的重要地位。有专家指出，混沌理论正广泛应用于各个领域，将给人类社会带来巨大变革。

混沌理论是关于系统从有序状态变为无序状态的一种演化理论，是对不规则而又无法预测的现象及其过程的分析。这一理论隶属于非线性科学，只有非线性系统才能产生混沌运动。

所谓非线性是相对线性而言的，线性是指量与量之间的正比关系；在线性系统



洛伦兹吸引子酷似一只蝴蝶 (图片由作者提供)

中，分量之和等于总量，遵循叠加原理，而非线性则刚好相反，分量之和不等于总量，不遵循叠加原理。非线性是自然界复杂性的典型性质之一，是一切物质运动的普遍规律。

1963年，美国著名学者爱德华·洛伦兹教授率先提出混沌理论，被学术界誉为“混沌理论之父”。混沌理论认为，在客观世界中，有一个与有序对应的另一种形式和无序的世界，其特征是非线性、混沌无序的。

混沌理论的创立是人类在认识大自然中的不规则性方面的一个举足轻重的突破。它的最大贡献是用简单的模型获得明确、非周期的结果。混沌理论与相对论和量子力学同被列为20世纪最伟大的发现和科学传世之作。

混沌理论的思想在上世纪中期前就已经出现，比如法国著名数学家亨利·庞加莱博士在1908年说过，“初始条件的微小误差在最后结果中产生极大差别的情况可能发生……于是预测变为不可能，从而我们就看到了许多偶然现象。”

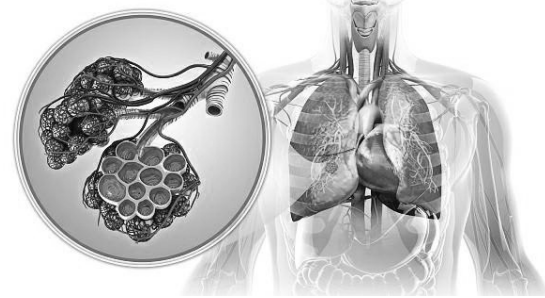
然而先贤们的思想、观念和知识都停

留在或者说局限于哲学和数学的思辨上，没有展示一个具体的科学实例。洛伦兹教授的伟大贡献，在于他第一次为这种极端敏感性和后来的混沌理论提供了一个简单又精准的物理系统的数学模型。

混沌理论所研究的是非线性动力学混沌，目的是要揭示貌似随机的现象背后可能隐藏的简单规律，以求发现一大类复杂问题普遍遵循的共同规律。洛伦兹教授曾做过一个形象的比喻：一只蝴蝶在巴西扇动一下翅膀会在美国的得克萨斯州引起一场龙卷风，这就是著名的“蝴蝶效应”。

蝴蝶效应与分形结构和奇异吸引子是混沌理论的三个重要概念，它们都是反映混沌系统运动特征的产物，也是混沌系统中无序稳态的运动形态。而混沌系统的重要特征在于初始条件中非常微小的变动也可以导致最终状态的巨大差别。

混沌理论几乎涉及到自然科学和社会科学的各个领域，成为解释或解决非线性复杂问题的有效工具，并正在改变人们对现实世界的许多传统看法。时至今日，混沌理论不仅具有重大的科学意义，而且具有广泛的应用前景。



呼吸系统(圆框内为肺泡及肺毛细血管)(视觉中国供图)

婴儿从降生之际开始啼哭，啼哭使呼吸道扩张，两肺顿时像气球一样膨胀起来。此后，他将不断地呼吸直到生命的最后一刻。人类呼吸的过程看似简单却又环环相扣，保障着每一个细胞获得自然界无私的馈赠——氧气。氧气通过生物氧化供给细胞能量，同时产生二氧化碳等代谢产物。人类在极端情况下有可能7天不吃饭、3天不喝水，但不能5分钟不呼吸。如果大脑缺血缺氧5分钟就会发生不可逆坏死。

安静状态下，成年人平均每分钟呼吸16次，每次吸入500毫升空气(含氧量约21%)。呼吸的全过程包括三个环节：首先是外呼吸，通过呼吸运动使外界空气进入肺，氧气穿过肺泡壁进入肺毛细血管；其次是气体在血液中运输，通过血液循环把氧气运输到全身各组织；再次是内呼吸，即血液和细胞之间进行气体交换以及细胞内氧化代谢。这三个环节的任何一环被阻断，就会导致窒息：堵住口鼻会阻断外呼吸；煤气中毒会阻断气体在血液中的运输，氧气就无法与血红蛋白结合；氰化物中毒会阻断内呼吸，细胞就不能利用氧气。

人类的呼吸系统经漫长的演化而来。原始生物直接通过细胞膜进行气体交换，到了软体动物才出现独立的呼吸器官——鳃，到了两栖动物才出现肺。人类的呼吸系统则包括了从鼻腔、咽喉、气管、支气管到肺的各级器官(合称呼吸道)，还包括胸膜和纵膈，它们和血液循环一起完成气体交换的任务。

呼吸道与外界直接相通，空气随着呼吸运动不断地进出，这也为细菌、病毒的传播提供了便利。感冒(鼻、咽、喉部的感染)是最常见的呼吸道疾病，此外还有气管炎、支气管炎或肺炎。近年来，SARS病毒、禽流感、新冠病毒的传播都是由呼吸道这条途径，过敏性鼻炎、哮喘、肺癌的发病率也在逐年上升。这些疾病的蔓延警示我们，如果不好好地保护环境，减少污染、维持自然界的生态平衡，人类自由自在地呼吸就会受到影响。

空气中飘浮着粉尘和微生物，然而我们也不必如惊弓之鸟一样对着空气望而生畏。呼吸道具有多重保护机制，正常情况下是不会轻易生病的。这些保护机制包括：呼吸有很多分支，细菌、病毒不能长驱直入，很容易分散后被免疫系统围剿；碰到刺激性气体，呼吸道平滑肌可以收缩，可以引起咳嗽和喷嚏，减少有毒气体的进入；呼吸道可以分泌黏液黏附异物，形成痰液排出，使之不进入肺泡；气管以下的呼吸道覆盖有纤毛，纤毛的摆动可以排出粉尘和细菌。17级细支气管以下还有巨噬细胞，可以吞噬病原体。有了这些保护机制，呼吸道一般不会被细菌、病毒侵害。只有在保护机制下降，或者细菌、病毒数量多、毒性强的时候，呼吸道才可能被感染。

保护呼吸道需要维持良好的作息习惯，适当锻炼，注意摄入含有维生素A或胡萝卜素的食物，保护呼吸道黏膜上皮，维持纤毛的完整，秋冬季节适当多喝水，保持呼吸道的湿润。

空气质量与健康的关系非常密切，虽然不可能常年购买呼伦贝尔大草原上的罐装空气，但是可以尽量减少雾霾天气外出、不抽烟、少吸二手烟、居室经常开窗通风、使用环保家装材料，有条件的话可以使用空气净化器。

(作者系华中师范大学副教授、湖北省生理学会理事)



## 呼吸道具有多重自我保护机制

□ 王欣

## 遵循发展和问题导向 城市规划设计需“高瞻远瞩”

□ 科普时报记者 陈杰

“高质量发展的城乡美好人居为全面建设社会主义现代化国家、对实现第二个百年奋斗目标具有突出的标志和推动作用，也是进一步解决城乡和区域发展不平衡不充分的重要战略工具和建设举措。人居环境规划建设与高质量发展息息相关，美好人居是高质量发展的目标，也是高质量发展的具体体现”。

9月26日，在清华大学建筑与城市研究所、清华大学人居科学院和清华大学建筑学院承办的“创新绿色共享的美好人居”学术对话活动上，清华大学教授吴唯佳表示，高质量发展的美好人居，要有创新空间布局的新理念、绿色发展的新模式、和谐社会的康新路径、共享合作的机制，以应对智慧信息低碳绿色技术，以及新型城镇化、城乡发展转型的新挑战。

如何创新绿色和谐共享高质量发展

的美好人居，以应对国家发展和技术进步的新形势和新挑战，已经是当前迫切需要开展前瞻性研究的重要课题。

吴唯佳认为，对于城市发展而言，规划与设计就是实现美好人居的关键前提。“城市规划与城市设计是关乎城市建设的两个既相互关联又各有分工的工作领域。”

城市设计又称都市设计，是一种关注城市布局、面貌，并且尤其关注城市街道广场等公共空间设计的一门学科；城市规划也称都市规划，是以发展和问题为导向的眼光，通过科学论证、公共决策等，对城市的经济、社会 and 空间结构进行研究，明确城市发展目标，统筹安排相应的生产和生活用地布局，及其需要的道路交通、给排水、电力电讯、防洪排涝、消防人防等各项基础设施，以指导和规范城市各项建设。

“城市规划与城市设计一样，与城市规划、城市经济学、城市社会学、公共管理、可持续发展等有着密切的联系，需要多个学科的知识。”吴唯佳表示，但两者也有明显区别，城市规划关注城市物质环境的空间组织和布局，侧重于经济功能和社会活动区位的土地使用管理。城市设计则属于广义的设计工作类型。城市规划更多的是处理城市发展和建设的综合管理问题，城市设计更多的是处理城市空间的具体设计问题。

当前，我国的城市规划有城市总体规划 and 详细规划两个阶段。城市总体规划通过控制性详细规划，对城市建设的各个方面进行管理。城市设计则服务于城市规划的空间布局安排，城市规划为具体落实城市设计理念提供管理条件。城市设计贯穿了城市规划的始终。

在城市的发展过程中，总体规划设计工作如果欠妥的话，后续就一定会出现困扰人们生产、生活的后遗症。吴唯佳表示，城市规划设计，既要有长远的眼光，高瞻远瞩地看待城市的发展，统筹安排，也要面对现实，积极发挥社会力量，动用多种技术和工程方法，解决当前发展中出现的问题。

“城市规划设计是城市健康发展的极为重要的一环，当前我们的城市规划设计水平还有很多需要提升的空间；城市的规划设计是伴随社会发展与时俱进的，不是像写书或者画画的一气呵成；城市规划设计包含的内容非常多，是一个综合学科的范畴。”吴唯佳强调，城市规划设计需要多个部门以及社会大众共同努力，才能让城市变得更加完善，人们的生活才能更加舒适和便捷。

## 从无到强 中国南极科考站将进入『五朵金花』时代

(上接第1版)

伫立冰盖之上，泰山站像一个红红的“灯笼”

2014年1月3日，我国第四个南极科考站，也是第二个南极内陆冰盖科考站——泰山站，完成主体工程建设。

泰山站的命名有何由来？曲探宙说，昆仑站建设时进行了全国征名。昆仑山脉是完全位于中国内陆的最高山脉，象征着“制高点”，第三个科考站因而得名“昆仑站”。而“泰山”则在全国征名中排名第二，当建设第四个科考站时，就选取“泰山”命名科考站了。

伫立冰盖之上，泰山站像一个红红的中国灯笼，中间圆鼓鼓的，下边则采取高架屋的建筑形式。科考队员们生活在圆鼓鼓的“灯笼”中心，可以很方便地360度观察周围景观。高架屋形式则有利于大风从底下通过，吹走积雪，从而避免科考站出现迎风一侧大雪堆积、出行不便的情况。

曲探宙说，中山站、长城站位于南极大陆边缘，与南极内陆冰盖最高点的昆仑站距离遥远，物资运输十分困难。泰山站位于中山站和昆仑站之间，距中山站522公里，距昆仑站600多公里，是一座中继站，对进一步保障南极内陆冰盖地区的科考有重要作用，同时对进一步研究南极大陆的气候变化、冰川变化，以及对南极大陆的遥感观测有重要作用。

由南极考察大国向南极考察强国迈进

南极地区是具有独特地理环境、丰富物质资源、重要科学价值与特殊战略地位的区域。除了物质资源，南极地区还有大量的科学资源有待人类探索发现和利用。

至今为止，我国已经组织实施了37次南极考察，组建成立了中国极地研究中心，先后有“向阳红”10号科学考察船、海军J121救助打捞船、“极地”号科学考察船、“雪龙”号考察船和国内自主设计建造的“雪龙2”号极地科考破冰船等执行过南极科考任务。

随着我国固定翼飞机、直升机、无人机、雪地车队在南极考察中陆续投入使用，以及人工智能、卫星遥感等高新技术在南极科考中的应用，我国建设极地考察强国有了坚实的技术基础。

曲探宙认为，我国南极科考事业未来发展亟待做好以下几方面工作：尽快制定我国南极科学考察事业未来发展战略规划；建立更加强有力的参与、应对国际极地事务的管理体制与协调机制；进一步增强基础能力建设，支撑保障平台建设，特别是职业化南极考察人才队伍建设；继续深入开展南极领域国家间战略合作；继续深入开展南极科学考察研究，加快实现由南极考察大国向南极考察强国迈进的步伐。

## 史前灵长类动物偏爱吃甜食

科普时报讯(记者吴桐)

《科学报告》近日发表的一篇文章显示，史前灵长类动物物种 *Microsops latidens* 的口腔化石，为哺乳动物龋齿提供了已知最早的证据。

这些化石可追溯到早始新世(约5400万年前)。在美国怀俄明州大角盆地南部发现的1030个口腔化石中，77个化石有龋齿。这些龋齿可能是由水果含量丰富的饮食或其他高糖食物导致的。历史

上龋齿发病率的变化说明，灵长类动物的饮食曾在含糖量更高和更低的食物之间波动。

研究人员通过比较这些化石在大角盆地南部沉积地层中的位置来推断这些化石的年龄。论文作者发现，在化石样本中，最早和最晚出现的样本所含的龋齿比其他样本更少，这或许说明灵长类动物的饮食曾在含糖量更高和更低的食物之间波动。研究人员认为，早始新世的气候波动或许影响了植被生长以及

食物的可获得性。

论文作者还发现，*Microsops latidens* 化石的龋齿发病率高于现存灵长类动物研究报告的水平，只有卷尾猴属(如僧帽猴)和桄榔猴属(如狨猴)的龋齿发病率比 *Microsops latidens* 还要高。

## 国际前沿

## 防范外来物种入侵 筑牢生物安全防线

□ 杨师

生物安全风险无处不在。近日有媒体报道，因截获了检疫性有害生物，海关总署宣布暂停某地区番荔枝和莲雾输入。该有害生物危害多种水果和粮食作物，一旦传入，将对农林业生产和生态安全造成严重威胁，为此均依法采取了退回或销毁措施。

某种物种从外地自然传入或人为引种后成为野生状态，并对本地生态系统造成一定危害的现象被称为生物入侵或“生物污染”，它已成为当今世界危害严重的全球难题。

外来物种对生态环境的入侵是造成生物多样性丧失和生物安全问题的主要原因之一，目前已经成为生态环境领域的研究热点。

在自然界长期的进化过程中，动植物与其天敌(包括食植昆虫、病原微生物)形成了比较稳定的食物链和相对稳定的生态系统。外来生物在其原产地有许多防止其种群恶性膨胀的限制因子，其中捕食和寄生性天敌的作用十分关键，它们能将其种群密度控制在一定数量之内。因此，那些外来物种在其原产地通常并不造成较大的危害，但是一旦侵入新的地区，失去了原有天敌的控制，其种群密度则会迅速增长并蔓延成灾。

历史上有许多有意无意引入的外来生物物种严重地危害了人们的生物安全，导致一些传染病的流行，以及农作物和牲畜发病、死亡，破坏环境和生态平衡，引起局部地区生物多样性的改变或丧失等。

然而，伴随着人类活动的加剧，随之带来的动植物、微生物的交流与灭绝，以及科学研究活动造成的生物交流，已经严重影响了地球生物的多样性，破坏了地球生态平衡。

生物安全是指人类不当活动干扰、侵害、损害、威胁生物种群的正常生存发展而引起的危害，包括生物、生态安全、人体健康和公私财产受到污染、破坏、损害等问题。

广义的生物安全是指与生物有关的各种因素对社会、经济、人类健康及生态环境所产生的危害或潜在风险。这里，“与生物有关的各种因素”，一是天然生物因子，主要包括动物、植物和微生物。其中，由微生物特别是致病性微生物所导致的安全问题，如生物武器、生物恐怖、重大传染病的暴发流行等，是人类社会所面临的最重要、最现实的生物安全问题。二是转基因产品，主要包括转基因动物、转基因植物和转基因微生物。三是生物科学研究开发应用。科学家为预防控制疾病而进行微生物和生物医学研究时，或人们利用生物技术进行其他研究时，如果防范措施不严格，就有可能出现意想不到的安全问题。另外，生物技术的滥用对人类健康、生态环境以及社会、经济都可能造成严重危害。

1992年制定的《生物多样性公约》是有关生物安全的一个最重要的全球性公约。该公约规定的内容大都与生物安

全管理有关。为了防止外来物种入侵，该公约规定“必须预防和控制外来入侵物种对生物多样性的影响”。

第5届生物多样性公约缔约国大会，2000年5月26日在内罗毕结束，我国于2000年8月正式签署了《卡塔赫纳生物安全议定书》。我国政府十分重视生物安全问题，国家相应出台了多项国家标准以及若干指导性文件。

保护生物多样性可以更好地保持生态平衡。生物多样性需要保护，但也不能随意增加，这样会带来生物入侵问题。入侵的生物体会破坏当地的生态平衡，带来一系列的问题。一旦将外来物种引入本已稳定存在的生态系统，这些外来物种获得生存机会就会干扰现有的生态平衡。要实现人与自然的和谐共生，既要保护生物多样性，又要防范生物入侵，维持生态平衡，还要保障生物安全。

(作者系北京协和医学院比较医学中心研究员)

