

不可思议的蝴蝶效应

□ 常会敏



传说在很久很久以前，天和地还没有分开，宇宙混沌一片。有个叫盘古的巨大，在这个混沌的宇宙之中，睡了一万八千年……这里的“混沌”，形容的是中国古人想象天地未开辟以前宇宙模糊一团的状态。

在数学里，如果一个系统的演变过程对初始状态（简称“初态”）非常敏感，人们就称它为“混沌系统”，研究混沌运动的一门新学科就叫混沌学。这里的“混沌”是表示事物初态如果有很小的变化，后来演变发展，事物就会差异非常大。

初态和混沌的关系，就像是一颗小小的种子和一片茂密的森林。种子虽小，但它包含了森林所有的可能性和潜力；而混沌系统就像是这片森林的生长过程，微小的初态变化最终导致了巨大的、不可预测的结果差异。

蝴蝶效应，是混沌理论富有诗意的比喻。你肯定听说过：巴西的蝴蝶扇动几下翅膀，可能会引起几周之后在美国得克萨斯州的一场风暴。

混沌是客观存在的，是比有序更为普遍的现象，它使我们对现实世界有了更深一层的认识，为我们研究自然界的



复杂性开创了新的思想方法。

20世纪五六十年代，人们普遍认为气象系统虽然很复杂，但仍是确定性对象——只要计算机足够强大，就可以精准预报天气。洛伦茨是美国的一位数学家和气象学家，他在天气预报中的一个发现，是人类对“混沌”认识的里程碑，因此他被称为“混沌理论之父”。

1963年，洛伦茨在麻省理工学院利用当时比较先进的计算机研究天气预报时，发现了一个“奇怪”的现象：不管对数学模型怎样修正，只要起始数据有一点点微小的差距，都会造成模拟结果的巨大差异。

后来，他发现问题出在精度上：计算机打印出来的数据，不是计算机内部最精确的实际数据——当时计算机的精度是小数点后6位，而打印出来的数据只到小数点后3位。第一组数据是在计算机内用小数点后6位的数据计算；对比第二组打印出来小数点后3位的数据进行计算，却产生了结果的巨大不同！因此，他发现气象系统是“混沌”运动。

在线性系统中，小的扰动只会产生小的偏差，而对混沌系统，则是“失之毫厘，差之千里”。把一片树叶放到一条稳定流淌的小溪上，观察并记录

树叶在小溪中的漂流情况。然后找一片相同的树叶以相同的方式放在小溪的相同位置，再次观察并记录树叶在小溪中的漂流状态。树叶漂流的情况一开始与前一次几乎完全一样，越到后面差别越大，某个距离以外就完全不同了。那是因为世界上没有两片完全相同的树叶，也不可能把两片树叶放到完全相同的位置，这些都是初值的小小差别，经过逐步地放大，结果引起很大的不同。

《人民日报》于2010年头版头条发表了题为《江苏给力“文化强省”》的文章，由于其权威性和号召力，“给力”一词一夜之间红遍中国，甚至被收录进第六版《现代汉语词典》。“蓝瘦香菇”（其本意为“难受想哭”）一词来源于广西南宁一名小哥失恋后的视频，由于发音搞笑，借助网络快速传播的巨大能量，迅速走红。这些例子都是新时期汉语发展蝴蝶效应的代表，语言混沌论为语言学研究提供了一种新范式。

有人说，相对论破除了牛顿的绝对时空观，量子力学揭示了测量的不可确定性，混沌学则排除了拉普拉斯的可预见性。由于其所具有的颠覆性，混沌理论正广泛应用于气象学、医学、经济学、影视、语言学等各个领域，为人类社会带来巨大变革。

（作者系国家开放大学应用数学系主任）

“化”说彩色秦俑

□ 邹晓川 伍钰茜 隆炎霓

到了陕西西安，大家首选打卡地通常是被誉为“世界八大奇迹”的秦始皇陵兵马俑。

其实，秦俑最初深埋于地下时，并不像今天看到的那般“灰头土脸”。考古资料表明，秦俑原是通体施彩，有朱红、粉绿、赭等10多种颜色。经过两千多年的深埋，那些保存下来的颜料出土后15秒就开始变化，4分钟内就完全脱水、起翘、剥落，有的则遗留在泥层上。因此，我们看到的秦俑都已失去了色彩。

秦始皇帝陵博物馆曾举办“真彩秦俑”展览，展出了大量彩绘的陶俑、陶片等，让秦俑的色彩保护与研究工作进入了大众视野。实际上，秦俑的制作过程中蕴含着许多化学知识。

化学解码秦俑色彩

秦俑可看作是由土坯层、生漆层和彩绘层组成的陶俑。有专家推测，烧制秦俑的材料取自附近的红胶泥，也称红黏土，红黏土的主要化学成分有三氧化二铝(Al_2O_3)、二氧化硅(SiO_2)、二氧化钛(TiO_2)等，它们的大部分化学成分在950℃~1050℃的温度下脱去结晶水，形成更加坚硬牢固的陶俑。

据媒体报道，工作人员还在秦俑的颜料中分析出一种尚未在自然界中发现的紫色颜料——硅酸铜钡($\text{BaCuSi}_2\text{O}_6$)。

Si_2O_6)。这对研究我国古代颜料史具有重大意义。

研究表明，秦始皇陵秦俑的彩绘层中含有的色彩元素主要有，炭黑、粉红、朱砂、中国蓝、中国紫以及石绿。

黑色的盔甲——炭黑，主要元素就是不定型碳(C)，用来勾勒人物的线条特征。

粉红的皮肤——骨白 [$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$]，一般是由动物骨骼在1000℃左右的高温下烧制而成。

五彩的服饰——朱砂(HgS)，呈红色；硅酸铜钡($\text{BaCuSi}_2\text{O}_6$)呈紫蓝色，反应温度较低就生成中国紫($\text{BaCuSi}_2\text{O}_6$)，反应温度超过1050℃即变成中国蓝($\text{BaCuSi}_2\text{O}_{10}$)；石绿[$\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$]，呈浅绿色。

也就是说，最初的秦俑不仅有着五颜六色的盔甲和衣服，还有着粉红的皮肤、修长的眉毛，甚至还有工匠绘画的大双眼皮。色彩下的秦俑神采奕奕，气势磅礴。此外，有报道称，在秦俑的制作中，还发现了一种由鸡蛋和动物胶组成的有机蛋白粘合剂，以及无机混合陶粉，它们被广泛用于秦俑制作中的填补、粘接、抹平等工艺。有机组分蛋白粘合剂与无机组分陶粉在性能上相互取长补短，使该复合材料实现了单一材料不能达到的综合性能。

秦人尚黑，秦俑身上为何会有如此

绚丽的色彩？可以猜测的是，这与当时秦代社会开放、盛世的局面有很大关联性。他们以天然矿物质为原料，不断创新，为世人展现秦代社会的色彩世界，呈现他们的朝气蓬勃。

化学助力秦俑恢复神韵

由于秦俑已在地下埋藏千年，大部分彩绘层会在出土时瞬间失水脱落，许多刚出土的绚丽秦俑在一瞬间失去光彩。因此，为留住“真彩”，秦俑色彩的修复技术成为相关工作人员的研究重点。

目前，保护彩绘层的常用方法是采用抗皱缩剂和加固剂联合保护，在保住秦俑表面色彩的同时，减缓褪色速度。其中，聚乙二醇主要发挥抗皱缩剂角色，聚氨酯乳液发挥加固剂作用。

聚乙二醇可以替换生漆层当中的水分，使其保持湿润，防止秦俑表面的漆层因失水而产生皱缩现象，起到保持彩绘层平整的作用。就像女性使用的一些面膜中含有聚乙二醇，也是在发挥保湿的作用。

聚氨酯乳液作为加固剂，能够增加生漆层与陶体之间、生漆层与彩绘层颗粒之间的黏合力。这种加固处理技术使彩绘更加牢固地附着在秦俑表面，最大程度地保护秦俑这一珍贵的历史文化遗产。

随着社会科技发展，秦俑身上的秘



视觉中国供图

密越来越清楚地呈现在公众的眼前，如研究人员利用X射线荧光光谱仪、X射线衍射光谱仪、气相色谱-质谱法等仪器，实现了秦俑结构的确定与还原。借助化学仪器，未来一定还可以揭开更多的秘密。

（作者邹晓川系重庆第二师范学院生物与化学工程学院教授，伍钰茜和隆炎霓均系重庆第二师范学院应用化学专业本科生）