

# 能否利用“人工原子”重构世界？

■ 周济

60多年前，美国著名物理学家费曼说过这样一句话：“假如在某次大灾难里，所有的科学知识都要被毁灭，只有一句话可以留存给新世代的生物，哪句话可以用最少的字包含最多的讯息呢？我相信那会是原子假说。”

原子是构成我们这个世界的基本单元，是决定物质性质和材料功能的关键因素。迄今为止人类所认识的原子都是自然赋予我们的。尽管化学元素周期表上的元素在数量上依然有增加的可能，但自然原子的种类无疑是有限的。

能否通过人工方式去重构类似于原子的功能单元以获得自然物质所不具备的性质呢？答案是肯定的！21世纪以来，一个新的概念横空出世，那就是“超材料（metamaterials）”。超材料的定义是“利用人工结构单元实现的、具有自然材料所不具备的超常物理性质的人工材料”。在过去的十多年中，超材料的研究向人们展示出了其重构世界的潜力。

超材料思想最初发端于针对“负折射”理想实验的物理实现。1967年，前苏联科学家维克托·韦谢拉戈（Victor Veselago）提出，如果有一种材料同时具有负的介电常数和负的磁导率，电场矢量、磁场矢量以及波矢之间的关系将不再遵循

作为经典电磁学基础的“右手定则”，而呈现出与之相反的“左手关系”。这时电磁波的玻印亭矢量的方向与波矢方向相反，即相速度与群速度方向相反。这种物质将能够颠覆光学世界，它能够使光波看起来如同倒流一般，并且在许多方面表现得有违常理的行为，例如光的负折射、“逆行光波”、反常Doppler效应、倏逝波放大、无像差透镜效应、以及负Cerenkov辐射等等。然而，众所周知，同时具有负介电常数和负磁导率的材料在自然界中是不存在的，因此，Veselago的预言未能得到科学界的重视。直到20世纪90年代中后期，英国物理学家Pendry提出了实现低频负有效介电常数和负有效磁导率的金属线（wire）



▶ 周济  
中国工程院院士  
清华大学材料学院教授

及开口谐振环 (Split ring resonator, SRR) 周期性人工材料模型，使实现左手材料成为可能。这种金属线和开口谐振环可以认为是“人工原子”。这一设想于 2000 年被美国加州大学圣迭戈分校 Smith 课题组利用简单的实验进行了验证，演示出微波波段负折射行为。左手材料的成功促进了超材料研究设想的形成，昭示人们可以在不违背物理学基本规律的前提下，利用人工设计的“原子”，获得与自然界中的物质具有迥然不同的超常物理性质的“新物质”。

此后，借助于 Pendry 提出的两类“人工原子”及其衍生体，科学家先后发展出一系列具有奇异电磁波性质的超材料和器件，如完美透镜、隐身衣、完美吸收体、人工电磁黑洞等具有超常特性的新型电磁波功能材料，并演示出了倏逝波放大、电磁诱导透明、高频人工磁性、电磁悬浮等奇异物理特性。近 10 年来，超材料的设计思想从电磁领域延伸到热学、声学、力学等领域，潜在的应用领域涉及到从单个病毒的观察到地震波的消除。超材料的发展及其影响引起了科技界、工业界以及军事界的广泛关注，入选《科学》杂志 21 世纪前 10 年自然科学领域的 10 项重大突破，被《今日材料》杂志评选为材料科学领域“50 年中的 10 项重大成果”之一。

在人类漫长的历史长河中，材料技术一直是重要的里程碑。人类因学会使用天然材料而实现了由猿到人的飞跃，进入了旧石器时代；因学会加工材料而进入了新时期时代；又因发明材料合成的方法而进入青铜器时代。今天，人类使用的绝大多数材料仍是合成材料。合成材料的基本结构和功能单元仍然是自然界赋予物质的结构，原子、分子、化学键、晶格等。随着材料科学和技术的进步，对这些结构操控能力逐渐增强，材料的性能不断提高，越来越趋近于材料性能的自然极限。因此，探索突破常规功能材料性能极限的

1 H 氢								2 He 氦
(+/-)								(-/-)
3 Li 锂	4 Be 铍	5 B 硼	6 C 碳	7 N 氮	8 O 氧	9 F 氟	10 Ne 氖	(+/-)
(+/-)	(+/-)	(+/-)	(+/-)	(+/-)	(+/-)	(+/-)	(+/-)	(+/-)
11 Na 钠	12 Mg 镁	13 Al 铝	14 Si 硅	15 P 磷	16 S 硫	17 Cl 氯	18 Ar 氩	(+/-)
(+/-)	(+/-)	(+/-)	(+/-)	(+/-)	(+/-)	(+/-)	(+/-)	(+/-)
19 K 钾	20 Ca 钙							
(+/-)	(+/-)							

前 20 位元素原子结构示意图

新途径已成为材料科学发展中迫在眉睫的问题。随着超材料的出现，历史可能掀开新的一页。

超材料的设计摒弃了基于自然原子的材料基因，而通过人工结构重构材料基因，为新型功能材料的设计提供了一个广阔的空间——昭示人们可以在不违背物理学基本规律的前提下，获得与自然材料具有迥然不同的超常物理性质的“新物质”。常规材料的性质主要决定于构成材料的基本单元及其结构——原子、分子、电子、价键、晶格等。这些单元和结构之间相互关联，相互影响。因此在材料的设计中需要考虑多种复杂的因素，这些因素的相互影响也往往是决定材料性能极限的原因。而将“超材料”作为结构单元，则可望简化影响材料的因素，进而打破制约自然材料功能的极限，发展出自然材料所无法获得的新功能材料，人类或因此成为“造物主”。

基于思想实验的超材料研究充满了创新的机遇与创意的美感，为科学原理在诸多领域的应用提供广阔的空间，也为解决人类面临的重大技术和工程问题提出了一种崭新的思路。在中国，超材料研究一直得到社会各界广泛的关注和政府强有力的支持。我国科学家在超材料领域开展了一系列有国际影响的工作。期待在开辟超材料时代的进程中，有更多中国科学家的贡献。