

2023 年诺贝尔科学奖中的新质生产力

编者按 2023 年诺贝尔自然科学奖 3 个奖项生理学或医学奖、物理学奖、化学奖，已分别于 10 月 2 日、3 日、4 日发布。科学界认为，今年获诺奖的成果有一个共同特点，即这些成果的最新萌芽几乎都产生于上个世纪 80 年代的基础研究。基础研究是新质生产力的源头活水。故此，本报特别邀请我国从事与今年诺奖研究成果相关工作的优秀科学家对今年诺贝尔科学奖 3 项奖进行解读，以飨读者。

诺贝尔物理学奖

阿秒脉冲， 超快捕捉电子动力学“高光时刻”

魏志义

10 月 3 日，诺贝尔奖委员会宣布，将 2023 年诺贝尔物理学奖授予阿秒激光领域 3 位物理学家皮埃尔·阿戈斯蒂尼 (Pierre Agostini)、费伦茨·克劳斯 (Ferenc Krausz) 和安妮·卢利尔 (Anne L. Huihler)，以表彰他们在“为研究物质中的电子动力学而产生阿秒脉冲的实验方法”所作出的贡献。这也是对激光实验技术特别是超快激光技术突破成就的又一次奖励。

从时间域观察微观粒子动力学特性

一个闪光过程，可以描述为一个光脉冲。所谓阿秒脉冲，是指持续时间仅在阿秒量级，即 100 亿分之一(10⁻¹⁶)秒的光脉冲。人们所谓的“快如闪电”，其实，最快的闪电所持续的时间也仅在百分之一到千分之一秒左右。由此，阿秒究竟有多短多快，以人们宏观的体验是难以想象的。光在 1 阿秒时间内所能传输的距离仅有 0.3 纳米，约相当于 3 个氢原子的直径。如果将 1 阿秒比之于 1 秒，那就相当于 1 秒之于宇宙约 140 亿年的年轮。

目前，利用最先进的电子显微镜，人们已经能够看到原子的图像，这是自然科学从空间域研究物理现象与规律的巨大进步。人们已知，组成物质世界的分子、原子及电子都处在绝对的运动之中，那么如何从时间域观察这些粒子的运动即发生在微观世界的动力学特性，也是人们研究并认识物理现象与规律的另外一个重要方面。1999 年，美国加州理工学院华裔科学家 A. H. Zewail 教授因首次用飞秒脉冲研究化学反应动力学的工作独享诺贝尔化学奖。

一般来说，分子的振动及原子的运动在皮秒到飞秒的量级，用飞秒脉冲就可以研究不同分子及原子的动力学过程。但对于原子内绕核运动的电子，其时间在阿秒量级，如氢原子中电子绕核一周的时间约为 152 阿秒。原子结构模型是奠定现代物理学大厦的重要基石，也是量子力学的重要成就，但一直以来缺少对这一理论模型的实验测量。阿秒时光脉冲的出现，第一次为人们测量并控制电子的运动提供了前所未有的手段。由于核外电子运行是物理、化学、生物等不同学科都需要共同面对的科学问题，因此阿秒时光脉冲的出现，在多个学科的前沿研究及应用方面都有着重要的科学意义及实际价值。

迎来超快科学阿秒时代

追踪阿秒时光脉冲的产生，与高次谐波 (high-order harmonic generation, HHG) 密不可分。当激光作用于非线性晶体时，在特定的条件下会产生二次谐波，也就是所谓的倍频。通常，这种效应需要满足相位匹配条件，并需要激光有一定的强度。不同于常规激光，超短脉冲激光对于对应高次谐波功率及强度，因此当与物质相互作用时，即使没有相位匹配的条件，也会激发出许多不同特性的非线性效应，如多光子效应、阈上电离、自相位调制等。1988 年，法国原子和表面物理研究所的 A. L' Huihler 及 M. Ferray 等人在已有非线性效应研究的基础上，采用脉冲 30ps、峰值功率约 1GW 的 Nd:YAG 激光与 Ar、Kr 等原子气体相互作用，观察到了波长延伸至近 30nm 的极紫外 HHG，并发现这种谐波具有两个典型的特征：一是谐波均为入射激光频率的奇次倍；二是谐波波谱下降区、平台区及截止区 3 个部分组成。这种极紫外光辐射的产生，为人们获得了具有高光子能量的短波长激光提供了一种新颖而实用的新方法。

不久之后，匈牙利固体物理研究所的 G.Farkas 和 C. Toth 等人通过理论分析指出 HHG 是在产生阿秒脉冲的方式，有望获得 100 阿秒的超快激光。1993 年，加拿大国家研究院的 P.Corkum 教授提出了三步模型理论，对其物理机制进行了合理而完美的解释，在其后的

研究中也进一步得出高次谐波具有阿秒脉冲的特性。

那么如何通过 HHG 实现阿秒脉冲呢？当时人们面临着复杂的技术问题，一是 HHG 的效率极低，二是在真空中传输，三是没有成熟的时间测量技术。因此在对实验结果为依据的物理研究中，无法证明所产生的 HHG 具有阿秒脉冲。

直到跨入新世纪的 2001 年，首先由法国与荷兰的联合研究团队在皮埃尔·阿戈斯蒂尼的主导下，在采用 406 的钛宝石放大激光与 Ar 气相互作用产生 HHG 的基础上，通过时间飞行电子谱仪 (TOP) 及微通滤波器 (MCP) 测量随延时变化的光电离电子，得到了脉冲宽度为 250 阿秒，相邻脉冲间隔为 1.35 飞秒的阿秒脉冲串。但是，这种阿秒脉冲串在应用中存在很大局限性，实际应用研究需要孤立的阿秒脉冲。

时隔不久，由时在维也纳技术大学的 F. Krausz 教授领衔的一个更为强大的研究团队与 P. Corkum 教授等人合作，在用 76 的飞秒钛宝石放大激光驱动 Ne 气产生 HHG 的基础上，采用互相关测量滤波后的极紫外光在 Kr 气中产生的光电动力学量分布，证明了 150 阿秒的时间分辨测量能力，获得了 650 阿秒的单个孤立阿秒脉冲，并成功用以 Kr 原子内电子运动的测量。该结果的实现，标志着超快科学阿秒时代的来临，次年被《自然》和《科学》杂志共同评选为年度十大科学进展之一。

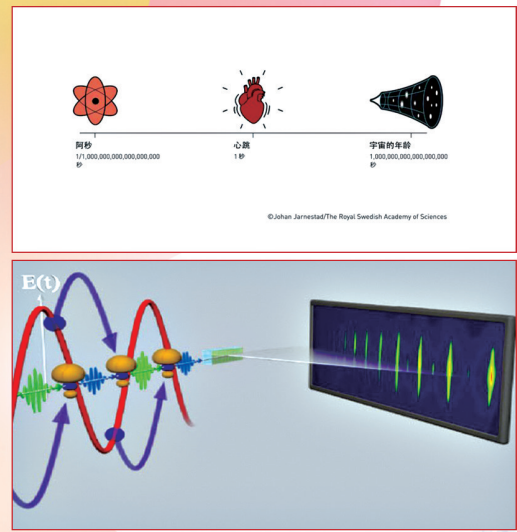
未来高新技术产业创新发展策源地

随着孤立阿秒脉冲的出现，人们进一步发展了不同的选通及测量技术，并推动了最短阿秒脉冲的不断进展。如美国中佛罗里达大学常增虎教授的课题组先后于 2012 年及 2017 年两次打破阿秒激光脉冲的世界纪录，分别得到了 67 阿秒及 53 阿秒的孤立阿秒脉冲结果。欧盟也在匈牙利建设了以阿秒脉冲激光为平台的极紫外科学设施 ELI-ALPS。

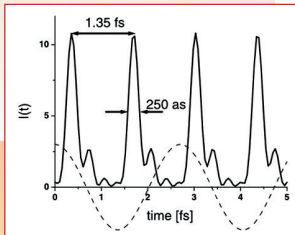
阿秒时光脉冲的出现，为超快科学打开了更高分辨率的研究大门，通过测量控制电子的动力学特性，为进一步推动原子分子物理、凝聚态物理、化学、生物等学科的创新发现提供前所未有的手段，可望对诸多物理现象的研究取得新认识，如超导的机理、超导中自旋交换的本质、半导体中电子和空穴之间的电荷转移机制。由于物理、生物、化学等领域中的许多现象的本质都来自于原子内电子的运动，因此，在医学领域，阿秒脉冲激光将有助于人们从根本上弄清包括疾病在内的微观起因和形成过程，并用以新药开发的指导。在能源领域，通过阿秒脉冲对材料中的电子运动过程的研究，可望提升光伏电池的效能。在信息领域，通过阿秒脉冲对材料电子性质的控制，已能实现 PHz 的开关速率，相比目前 CPU 普遍仅 GHz 的时钟频率，有望带来信息处理及计算的革命。这些超快科学的工作，不仅是前沿基础科学的前沿，也是与未来高新技术产业密切相关的内容。当前，阿秒脉冲主要还在实验室发展阶段，进一步的发展还需要科学家与工程技术人员的共同努力。

作者：魏志义，中国科学院物理研究所二级研究员，首次在国内实现阿秒脉冲的产生测量，多项工作曾打破世界纪录。迄今发表 SCI 论文 400 余篇。曾任国际纯粹与应用物理联合会 (IUPAP)、马斯科-普朗克阿秒科学中心 (MPC-AS)、国际阿秒物理委员会、亚洲强激光委员会等学术机构成员，多次担任该领域国际会议的主席及共主席。以第一完成人获国家技术发明奖二等奖及中国科学院科技进步奖二等奖，科技促进奖二等奖等荣誉。中国科学院青年科学家奖 (2001)、国家杰出青年科学基金 (2002)、胡刚复物理奖 (2011) 获得者，先后当选美国光学学会 fellow、中国光学学会及中国光学工程学会会员。

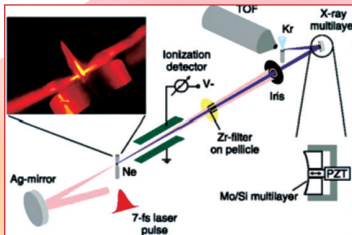
诺贝尔物理学奖



产生高次谐波的原理示意图 [引自 Luis Plaja et al.: Attosecond Physics—Attosecond— Attosecond Measurements and Control of Physical Systems, Springer Press (2013)]



250 阿秒脉冲串测量结果 [引自 P.M.Paul et al.: SCIENCE VOL 292, 1689 (2001)]



产生孤立单阿秒脉冲的实验示意图 [引自 F.Krausz and M.Ivanov: Attosecond physics, Rev. of Mod Phys, Vol.81, No.1 (2009)]

诺贝尔化学奖

10 月 4 日，诺贝尔奖委员会宣布，将 2023 年诺贝尔化学奖授予美国麻省理工学院教授蒙古·G·巴文迪 (Moungi G. Bawendi)、美国哥伦比亚大学教授路易斯·E·布鲁斯 (Louis E. Brus) 和美国纳米晶体技术公司前首席科学家阿列克谢·伊基莫夫 (Alexei E. Likhov). 以表彰他们在发现和合成量子点 (Quantum dots) 方面作出的贡献。

揭示了新的物质电子能级调控原理

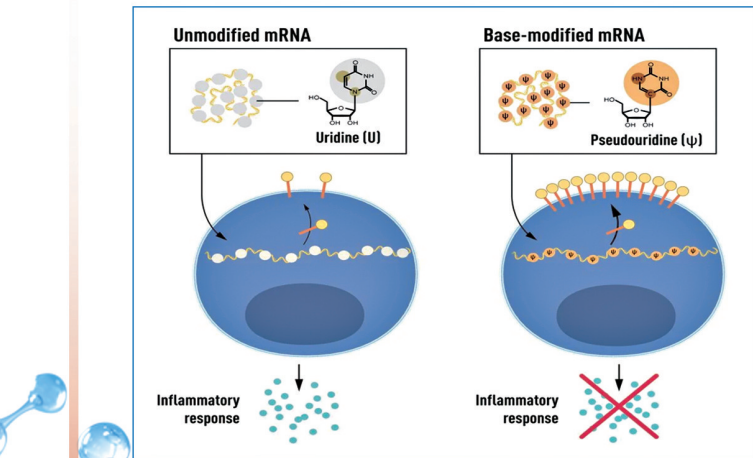
目前已被应用到高清显示器和电脑屏幕上提供绚丽色彩的量子点，是一种纳米尺度的晶体，通常由数千个原子组成。1 纳米约为一根头发丝直径的 5 万分之一，约为氢原子直径的 10 倍。

量子点，是因电子态量子限域效应表现出尺寸依赖性的晶态纳米颗粒。即当一个纳米颗粒只少数 (如数千) 个原子组成时，电子运动受限在纳米尺度空间 (近似看作“点”)，其能级不再连续，而是分立“量子化”的，导致其光学等性质具有量子化特征，故称为量子点。通常是指半径小于或接近于其激子玻尔半径的准零维半导体纳米晶体。

从 1980 年发现至今，量子点经过了长达 43 年时间的发现。

量子点的发现和合成能够获诺奖，体现了其在科学上的重要性。

量子点的发现，向世人揭示了一种新的物质能级结构调控原理，即在不改变物质组成前提下，仅通过尺寸调节就能得到不同带隙的材料。而基于这一新的原理以及蒙古·G·巴文迪教授所发展的量子点合成新方法，发光性质可调的高质量量子点为基础研究以及实际应用提供了无限可能。例如，量子点可以用于研究基础物理问题的有力工具。得益于量子点相对简单可控的电子结构与量子化能级特征，其可以作为量子计算机载体；量子点作为量子光源同样独具魅力，可以高保真地发射单光子和纠缠光子，为利用量子限域效应带来了新的机遇；量子点的激子强吸收和高光转换效率以及发光颜色多色可调性，使得生物体系多因子同时调控的实时动态跟踪研究成为可能。



mRNA 包含 4 种不同的碱基，A、U、G 和 C，获奖者发现，把假尿苷 代替腺苷 U 后，可形成一种特定的碱基修饰 mRNA，它们被传递到细胞时，可阻断炎症反应并增加蛋白产量

诺贝尔化学奖



不同尺寸 CdSe (左，小→大，右) 量子点胶体溶液



量子点显示 (真实地呈现自然颜色，而且节能环保节约珍贵稀土战略资源)

诺贝尔化学奖图片均由文章作者提供

庞代文

量子点，纳米技术领域一个里程碑

始于彩色玻璃研究中的偶然发现

与诸多改变人类发展进程的重大发现一样，量子点是被偶然发现的。苏联科学家 Alexei I. Likhov 在研究彩色玻璃时发现了纳米颗粒的尺寸依赖性，并于 1980 年发表在俄文期刊 Fiz. Khim. Stekla《玻璃的物理与化学》上，标志着量子点的发现。

1983 年，美国的 Louis E. Brus 在研究硫化镉胶体溶液时，发现了硫化镉的激子吸收峰与其颗粒尺寸密切相关，并提出了纳米尺度硫化镉光学性质的尺寸效应，发表在 J. Chem. Phys. 上；随后，在详细研究其机理之后，提出了著名的描述量子点第一激子激发态能量与其体带隙、尺寸相关的量子限域效应以及电子-空穴库仑相互作用能之间关系的理论公式，也发表于 1983 年和 1984 年的 J. Chem. Phys. 上。麻省理工学院化学系 Moungi G. Bawendi 教授于 1993 年在 J. Am. Chem. Soc. 上发表了具有划时代意义的“热注射法”，制备出了高质量量子点，极大地推动了该研究领域的发展。

今年，J. Chem. Phys. 出版了一期专刊，纪念 40 年前 Louis E. Brus 教授发表的第一篇有关胶体量子点量子尺寸效应的研究论文，我们也受邀担任了一个工作。

有意思的是，Moungi G. Bawendi 曾在 Louis E. Brus 课题组从事过博士后研究工作，属于师承关系，说明一个领域的突破是需要科学家前赴后继的共同努力。

在诸多技术领域大放异彩

量子点，具有可调的光学、电学、化学和物理特性。就发光性质来说，具有高亮度 (因激子强吸收和高量子产率)、发光颜色几乎任意可调 (因能级结构可调) 等现有材料所无可比拟的独特性质，量子点在很多领域具有非常好的应用前景，包括生物标记成像、光电显示、柔性电子器件制造、太阳能电池、光催化合成、照明、微型传感器、环境污染降解甚至量子计算机等，且有些领域的应用已有一定的发展。

如今，量子点最具商业价值的应用是在高清显示

领域，包括电视、电脑、平板、手机等，具有万亿级市场规模。量子点的应用不仅能大幅提升显示色域、节约能耗，而且还能节约宝贵的稀土战略资源。因而量子点电视被视为高色域彩电的最佳方案。目前有 QD-LCD、AMQLED 方案并行研发，已逐步走上商业化快车道。我国在这方面占有 70% 的产能，推动该领域发展将促进我国显示行业的产业升级，极具战略意义。例如，广纳珈源 (广州) 科技有限公司创立了量子点光扩散板 (QD-PS) 背光新模式，不仅 BT-2020 色域提升至 95%，而且成本还降低 50% 以上。在全球首次实现了量子点光扩散板的实际应用，已投入量产并用于 200 多万台量子点电视机，对提高我国在量子点显示领域的国际地位和、占领未来显示产业发展制高点、从显示材料源头和背光模式上改变受制于人的被动局面，具有重大意义。

自 1998 年量子点首次应用于生物成像后，量子点在生物应用领域大放异彩。例如，量子点已经在生物标记成像、生物检测、病理染色、试剂盒等方面得到了广泛应用，并实现了一定商业转化。我们充分利用量子点高亮度、多色、耐光漂白等优点，系统地发展了量子点单病种示踪技术，并揭示了禽流感病毒感染动态过程的新途径，为病原原感染生物感染等多动态信息实时获取提供了强有力的新手段。针对液体成像需求已发展出所需需要的低毒近红外量子点，可为疾病诊断提供高时空分辨的荧光图像。

随着社会经济的发展，化石能源有限且碳排放的现状促使能源资源高效转换为亟待解决的问题。量子点的高性能、高量子产率、带隙可调等近乎完美的光学特性，使其成为光电转换领域极具吸引力的材料。在碳中和目标任务背景下，我国 2022 年全年光伏产业链行业总产值已突破 1.4 万亿元人民币，并仍在快速提升，但光伏电池产业主体仍为单晶硅和多晶硅光伏电池，胶体量子点可以比现有的单晶硅光伏电池吸收更宽波长范围的太阳光，并且其可在相对较低成本的前提下，大批量、高质量合成，可望再生大规模应用需求。

根据美国国家可再生能源实验室的数据，截至目前，单结量子点光伏电池的 外量子效率已达 18.1%，多结光伏电池的 效率纪录更是不断刷新，可溶液合成处理的量子点光伏电池在该行业领域无疑具有很大的应用潜力。

诺贝尔生理学或医学奖

mRNA 疫苗，在席卷全球的新冠疫情中横空出世

张田助

10 月 2 日，诺贝尔奖委员会宣布，将 2023 年诺贝尔生理学或医学奖授予卡塔尔·卡里科 (Katalin Karikó)、德鲁·韦斯曼 (Drew Weissman)，以表彰他们在核苷碱基修饰方面的发现。诺贝尔奖颁奖词中说“两名获奖者的发现，对于研发有效的 mRNA (信使 RNA) 新冠疫苗至关重要。他们的突破性发现，彻底改变了我们对 mRNA 如何与免疫系统互动的理解。”

卡里科·韦斯曼项目

卡里科出生于匈牙利，现为德国制药公司拜恩泰科 (BioNTech RNA) 副总裁、匈牙利塞格德大学教授和美国宾夕法尼亚大学佩雷尔曼医学研究院教授。韦斯曼出生于美国马萨诸塞州列克星敦，现为罗伯茨家族疫苗研究教授和美国宾夕法尼亚 RNA 创新研究所所长。

卡里科和韦斯曼获得诺奖是众所周知，因为他们的研究和发现奠定了 mRNA 疫苗快速研发的基础，为人类征服从 2019 年年底到 2022 年年底长达 3 年时间的全球新冠病毒感染疫情大流行作出了贡献。这 3 年疫情让人类蒙受了重大损失，也遭遇了巨大的心理创伤。

卡里科最初研究免疫学，她于 20 世纪 80 年代开始研究 mRNA。1982 年，卡里科在匈牙利塞格德大学获博士学位，此后一直到 1985 年都在塞格德的匈牙利科学院从事博士后研究。后来，她在美国费城天普大学和贝斯达健康科学大学进行博士后研究。1989 年，卡里科被任命为美国宾夕法尼亚大学助理教授。2013 年以后，她成为 BioNTech RNA 制药公司的副总裁，后来成为高级副总裁。

1990 年代初，卡里科在宾夕法尼亚大学担任助理教授从事免疫细胞研究时，仍执着地进行 mRNA 研究，目的是为了以 mRNA 为基础研发治疗药物和疫苗。然而，当时研究 mRNA 是冷门。一是如果应用于疫苗和药物研发可能时间较长，二是人们对 mRNA 作用机理并不太明确，这其中涉及前沿的分子生物学的多个领域。

1997 年，卡里科在宾夕法尼亚大学遇到了与她志同道合的新同事——免疫学家德鲁·韦斯曼。韦斯曼对树突状细胞感兴趣，树突状细胞在免疫监视和激活疫苗诱导的免疫反应方面具有重要作用。他们很快便开始了富有成效的合作，这项合作项目也正式成为“卡里科-韦斯曼项目”，专注于不同的 RNA 类型如何与免疫系统相互作用。后来，他们发现了 mRNA 碱基修饰的重要性，通过这种机理，使研发 mRNA 疫苗成为可能。

然而，“卡里科-韦斯曼项目”研究过程中，卡里科和韦斯曼曾一度心灰意冷，想要放弃，特别是卡里科在当时难以说服投资者对他们的研究进行资助，因为几乎没有人认为他们的研究有价值。最终，卡里科和韦斯曼的研究和实践表

广泛应用仍面临很多问题

虽然“量子点发现和合成”获得今年诺贝尔化学奖，但量子点的广泛应用仍面临很多问题。其中最难的是如何在工业生产中实现量子点性能精准控制和使役的长期稳定性。以量子点显示为例，若要满足高色域和节能要求，比较理想的情况是规模化量产时 (吨级水平)，量子点的荧光半峰宽应达到约 20nm，荧光量子产率最好大于 95%。与此同时，对量子点的稳定性要求也极为苛刻，必须能耐受高温熔融加工和随后在光、热、水、氧极端条件下破坏，再经受长达 10 年后的使用考验，这是一个巨大的挑战。

我们经过 22 年的潜心系统研究，通过综合考虑量子点的发光核、核膜、配体层、应用场景等因素，合成出了荧光量子产率接近 100%，荧光半峰宽约 20 nm 的高质量量子点，为其广域背光显示应用奠定了坚实的基础。此外，精巧设计量子点的“多壳层-厚壳层”等多级复合结构，突破传统量子点不耐高温加工的世界性难题；发展了非注射的往复式需求设计和制备量子点。此外，量子点大规模应用需要发动机和联合上下游企业，共同通力合作，着力推进。同时，急需培养大批专业性应用人才，以满足快速发展的市场需求。

值得一提的是，量子点的发展极具个性化色彩，往往需要有的放矢，具体要求，具体分析。所以，需要继续加强量子点的基础研究，尤其是针对不同应用场景的需求设计和制备量子点。同时，量子点大规模应用需要发动机和联合上下游企业，共同通力合作，着力推进。同时，急需培养大批专业性应用人才，以满足快速发展的市场需求。

我相信，在多地协同支持下形成合力，将推动我国量子点的基础研究、产业转化以及大规模应用的快速发展。

作者：庞代文，南开大学杰出教授，美国医学与生物工程 Fellow，美国皇家化学会 Fellow，全国纳米委员会委员及纳米光电显示技术标准工作组组长。先后主持国家自然科学基金委杰出青年科学基金、基金委创新研究群体项目、基金委重大、国家 973 等项目。从 2001 年开始从事量子点研究一至今，在我国量子点基础研究与应用产业化方面做出了开创性工作，发表 SCI 收录论文 430 多篇，引用 2.2 万多次，获授权国家发明专利 42 件，参与制定量子点国家标准 3 项。

明，mRNA 研究有着很大的应用前景。

早于新冠大流行 14 年

在中国称之为新型冠状病毒感染的疾病在国际上被命名为 COVID-19。该病是由严重的急性呼吸综合征冠状病毒 2 (SARS-CoV-2) 引发，危害人类的生命健康。2020 年全球新冠病毒感染疫情大流行，新冠疫苗的研发成为迫切的需求。除了进行医疗和传染病的隔离防治外，人们投入了大量的人力、物力和财力研发新冠疫苗及特效药物。而 mRNA 疫苗在实践中被证明是研发时间最快且效果最好的疫苗。这类疫苗的研发上市，为阻止新冠疫情的蔓延和转移发展奠定了基础。而 mRNA 疫苗的研发正是建立在卡里科和韦斯曼发现的基础上。

在这场席卷全球的新冠病毒感染疫情中，mRNA 疫苗仅用时 10 个月的快速研发和投入应用，挽救了全世界数以百万甚至千万计的生命。

卡里科和韦斯曼的贡献在于，通过对 mRNA 碱基修饰重要性的基本发现，让研发 mRNA 疫苗成为可能。过去，传统疫苗是灭活疫苗，即采用病毒或病原体的一部分或全部进行活来研制疫苗。但是，无论是研发和生产基于病原体的部分蛋白质、部分基因还是全病毒疫苗，都需要大规模的细胞培养和灭活。这种情况既浪费资源又时间长，因而限制了有效疫苗的快速发展。特别是在新冠疫情期间，人类几乎感到束手无策甚至于绝望。

此前，研究人员也一直试图研发独立于细胞培养的疫苗技术，但是，这种做法极具挑战性，并且非常困难。而卡里科和韦斯曼在研究中发现，树突状细胞 (一种免疫细胞) 在体内识别并释放 mRNA 作为外来物质，这导致它们的激活和炎症信号分子的释放。他们知道，哺乳动物细胞 RNA 中的碱基经常被化学修饰，而体外转录的 mRNA 则不会被修饰。他们想，如果，为何会出现这种情况。

由此，卡里科和韦斯曼设计和生产了不同的 mRNA 变体，每个变体的碱基都有独特的化学改变，然后将这些 mRNA 变体传递到树突状细胞。结果令人吃惊：当碱基修饰包含在 mRNA 中时，炎症反应几乎被消除。这也提示细胞是如何识别和响应不同形式的 mRNA 变化。而且，他们非常清楚，这些发现，对于使用 mRNA 来进行疾病的预防和治疗具有深远意义。卡里科和韦斯曼的这些开创性的研究发表于 2005 年，即新冠大流行前 14 年。

卡里科和韦斯曼发现的意义，不只是让人们知道碱基修饰的 mRNA 可用于阻断炎症反应的激活 (信号分子的分泌)，更重要的是在 mRNA 递送到细胞时可增加蛋白质的产

生，这就为 mRNA 疫苗的研发奠定了基础。在 2008 年和 2010 年发表的进一步研究中，卡里科和韦斯曼发现，与未修饰的 mRNA 相比，通过碱基修饰产生的 mRNA 的递送显著增加了蛋白质产量。原因是，由于调节蛋白质生产的酶活性减少。

通过发现碱基修饰，既能减少炎症反应又能增加蛋白质产量，也就为 mRNA 的医疗应用扫清了关键障碍，因为研发 mRNA 疫苗需要大量的病毒蛋白作为抗原。在这个基础上，当新冠病毒感染疫情流行时，两种编码新冠病毒 (SARS-CoV-2) 表面蛋白的碱基修饰 mRNA 疫苗以创纪录的速度研发了出来，从研发到上市使用仅用了 10 个月时间。而且，保护作用约为 95%。这就是 2020 年 12 月，美国食品药品监督管理局 (FDA) 批准 (紧急使用授权，EUA) 的辉瑞 (Pfizer)/拜恩泰科 (BioNTech) 和莫德纳 (Moderna) 公司生产的两款 mRNA 新冠疫苗。

mRNA 疫苗技术的落地，正是绕过了人类数百万年形成的核酸识别与炎症反应，让人类疫苗在体内靶向分子的表达。这一技术落地，是人类科学又一次底层技术的突破。

基础研究与高新技术的力量

mRNA 获得 2023 年诺贝尔生理学或医学奖表明，正是基础科学研究的发现导致了高新技术的横空出世，既促进了科学的发展又具有重大的社会和经济意义。以研发 mRNA 疫苗而言，其在帮助人类社会及早地战胜新冠病毒感染疫情中产生了重要作用。

世界银行指出，全球因新冠病毒感染疫情大流行造成的经济损失超过 7 万亿美元。由于新冠病毒感染疫情，2020 年全球极端贫困率出现了 20 多年来的首次上升，目前全球日均生活费低于 1.90 美元的人口新增了 1 亿左右。世界卫生组织在 2023 年版的年度世界卫生统计报告中指出，2020-2021 年，新冠在全球造成了 3.368 亿年的生命损失。这相当于每多死亡一人平均损失 22 年的生命，与此同时突然而悲剧性地缩短了数百万人的生命。

今天，mRNA 疫苗不仅可以预防新冠，而且已经扩展到对更多疾病都可利用其研发疫苗和药物。目前，癌症 mRNA 疫苗即在紧锣密鼓研发中。

不可否认的是，包括多种多样原理的有效疫苗在控制新冠病毒感染疫情大流行中发挥了决定性作用，相对于过去新冠疫苗研发需要约 10 年时间，mRNA 疫苗的快速发展仅研发仅用时 10 个月，这是一种飞跃，这也是基础研究与高新技术的力量。

作者：张田助，曾任中国大百科全书编辑部《百科全书》副主编，现为专栏作者、学者，有著作和文章者。

人类社会应怎样对待这样的科学家

田地

科的项目正式成为“卡里科-韦斯曼项目”。对卡里科而言，韦斯曼当时的帮助可谓雪中送炭，不仅仅是资金支持，同样重要的还有精神上的鼓励。更重要的是，两人的研究产生了互补效应。

在后来的合作中，卡里科更多地负责 mRNA 改进，韦斯曼则负责免疫性检测。直到 2005 年，他们发现 mRNA 引发免疫反应 (产生炎症，而且机体免疫反应可消灭 mRNA 分子) 的原因，是尿嘧啶 (U) 意的碱基，它与核糖有两条连接方式，正常情况下形成尿嘧啶，但在特殊情况下形成尿嘧啶 (V)。如果用尿嘧啶 V 后形成尿嘧啶 mRNA，就可有效阻断免疫系统的识别而不再引发炎症反应。

此后，卡里科和韦斯曼的研究逐渐获得资金支持。2020 年，席卷全球的新冠病毒感染疫情大暴发，基于卡里科的理论开发的新新冠疫苗横空出世，美国的瑞辉与 BioNTech、Moderna 两家公司率先研发出两款 mRNA 疫苗，成为拯救新冠病毒感染人群的重要利器。

让人欣慰的是，在艰难的研究和沉默苦闷的生活中，卡里科将女儿祖娅娜·弗罗西 (Zsuzsanna Francia) 培养成两获奥运金牌的冠军。祖娅娜在宾夕法尼亚大学读大二时开始划艇，2008 年参加北京奥运会，获得女子 8 人制赛艇项目金牌；4 年后的 2012 年伦敦奥运会，她再次与队友夺得该项目的冠军。

2023 年诺贝尔生理学或医学奖获得者卡里科的科研经历，为世人提出一个值得思考问题：人类社会应怎样对待这样的科学家？

本版主编 策划 朱广清