

高技术前沿

观察物体时，人眼能够轻松分辨物

体的远近与立体形态。这得益于人类

视觉系统独特的“双目视差”机制。

具体而言，在观察同一物体时，人

的左右眼会形成微小的视角差。这种

视角差最终形成了左右眼看到的二维

图像差异化。随后，二维图像传入大

脑，经过视觉皮层复杂的合成运算，

最终形成具有深度信息的三维立体感

知。人类这种精妙的生物演化成果，

正是近眼显示技术试图复制的核心原

理。从本质上看，近眼显示技术是对

人类视觉系统的工程学重构——通过

模拟人眼自然成像规律，将数字信息

直接投射到视网膜感知范围内，使虚

实内容以符合生理习惯的方式无缝融

合。在虚拟现实近眼显示设备中，工

程师们通过精密的光学系统完美“复

刻”了人类的自然视觉机制。

当用户佩戴设备时，计算机会根据

头部追踪数据，实时生成两套不同视

角的立体图像。就像为左右眼各配置

了一台专属显示器，这些图像先经过

微型显示屏呈现，再通过特制的菲涅

尔透镜或 Pancake 透镜组进行光学放

大，将原本微小的画面扩展至覆盖人

眼 90~120 度的视场范围。而最终呈

现的效果，相当于在人眼前创造出一

个如同置身于 IMAX 巨幕场景中的

沉浸式体验空间。

更巧妙的是，近眼显示设备中内置

的瞳距调节机，能自动校准镜片间距

，确保每帧画面都能精准对应不同用

户的眼球位置。这种个性化的适配技

术，让不同年龄段的人都能获得舒适

的立体视觉体验。

目前，根据虚实融合程度不同，近

眼显示技术主要分为两大技术流派。

一种是“虚拟现实”流派——借助全

封闭式头显完全遮蔽现实环境，用高

分辨率显示屏和空间音效构建全数字

世界，这种类型特别适合需要深度沉

浸体验的作品。还有一种是“增强现

实”流派——通过特殊的光学元件，

将数字信息叠加在现实场景中。例

如，微软 HoloLens 2 全息眼镜，突

破了传统光学设计的物理限制。在厚

度仅为 1.7 毫米的镜片内部，数以万

计的纳米级光栅像迷宫般排列，将

微型投影仪发出的光线经过 12 次以

上的全反射“折叠”后精准导向人

眼。这既保持了镜片的轻薄透明，又

能让用户清晰看见悬浮在空气中的

全息操作界面。

此外，当用户注视不同距离的虚拟

物体时，近眼显示设备的镜片会自动

调整光线发散角度，让眼球肌肉如同

观察真实物体般自然运动，从根本上

避免了长时间用眼导致的视觉疲劳。

我们由此可以大体概括近眼显示技

术的“工作流程”：通过微型显示器

件与精密光学系统，在眼球前方接近

近期，一场“看我天地中轴”虚拟现实技术体验展在北京王府井举行。走进展览，戴上一套头显设备，观众就能看到北京中轴线的三维高保真场景。体验展以一种独特新颖的方式，实现与文化和历史现场的沉浸式互动。

穿越虚拟世界与现实世界，这些昔日只有在科幻小说中才会出现的场景，正逐步走进现实。伴随着 5G 时代的到来和 AI 技术的发展，虚拟现实（VR）、增强现实（AR）、混合现实（MR）、扩展现实（XR）技术的发展步入快车道，有望革命性地改变人们的交互方式，成为通往“元宇宙”的入口。这一切的背后，离不开一种基础性技术——近

近眼显示技术——

人类视觉的“数字视网膜”

■印二威 刘小龙 魏 寅



3月3日，在西班牙巴塞罗那举行的2025年世界移动通信大会上，人们正在体验头显设备。

新华社发

内生高分辨率虚拟图像，重构人类视觉的“数字视网膜”，进而达到让人类“看见”的目的。

从“沉重头盔”到“轻薄眼镜”

事实上，人类对近眼显示的探索，最早可以追溯至 19 世纪。

1838 年，英国科学家查尔斯·惠斯通发明了立体镜。人的左右眼借助该立体镜，分别观看两张略有差异的平面图像，通过大脑合成产生立体感。这一装置虽然简陋，但首次揭示了通过光学手段欺骗视觉、创造沉浸式体验的可能性。

20 世纪 60 年代，计算机图形学的发展为近眼显示技术注入了新动力。1968 年，被誉为“虚拟现实之父”的伊万·萨瑟兰在美国麻省理工学院开发出首款头戴式显示设备——“达摩克利斯之剑”。操作中，用户需佩戴沉重的头盔，透过镜片观看由计算机生成的简单线框图形。尽管这款显示设备外形笨拙、画面粗糙，却首次将“头戴显示”与“计算机生成图像”结合，奠定了近眼显示技术的雏形。

不过，受限于显示技术和光学系统，早期的近眼显示设备普遍存在体积大、分辨率低、延迟高等问题。例如，1995 年日本任天堂公司推出的 Virtual Boy 游戏机，仅能显示单色像素画面，用

户佩戴后容易产生眩晕感，最终因市场反响惨淡退场。

转机出现在 21 世纪初。当时，随着液晶显示、有机发光二极管等屏幕技术的成熟，近眼显示设备的显示屏尺寸得以缩小至毫米级，同时分辨率大幅提升。2012 年，美国 Oculus 公司推出首款消费级 VR 近眼显示设备“Oculus Rift”，该设备采用两块 7 英寸 LCD 屏幕，提高了单眼分辨率，同时搭配低延迟头部追踪技术，首次为用户提供了相对舒适的沉浸式体验。此后，近眼显示技术进入快速发展期。

2014 年，谷歌发布 AR 眼镜“Google Glass”，这款眼镜首次将显示屏集成至普通眼镜形态。尽管因隐私争议最终未能普及，该眼镜却开创了轻量化近眼显示的先河。

2016 年，微软公司推出 HoloLens AR 近眼显示设备。这款设备采用了全息波导技术，能够将虚拟图像叠加于真实环境，实现虚实融合的交互体验。

2024 年 9 月，美国 Meta 互联网科技公司发布 Orion AR 眼镜。据悉，这款眼镜采用碳化硅镜片，重量只有 98 克，镜框内嵌有 7 个摄像头，而且折射率更高。此外，为了提升交互体验，该设备还配备了肌电手环。有了肌电手环，用户可以通过手腕的微小运动来控制眼镜，实现更加自然流畅的交互体验。

从“沉重头盔”到“轻薄眼镜”，从第一代近眼显示设备到即将融入日常穿搭的智能眼镜，近眼显示技术的持续进化，本质上也是人类对自身生理局限的

眼显示技术。

比如，芬兰科技公司 Varjo 推出的 XR-4 系列头显设备，搭载了“仿生显示”技术，不仅实现了单眼分辨率达到视网膜级清晰度，更突破性地将动态观测范围提升至人眼感知范围的 99%；利用美国一家公司发布的 MR 头显设备，用户可沉浸式观看高清影像，还能通过手势操控虚拟界面中的文档、图片甚至 3D 模型。

那么，这种将显示屏贴近人眼、通过光学系统投射图像的近眼显示技术，为何能在短短数十年间从实验室走向千家万户？其蕴含着怎样的科学原理？又将如何重塑未来社会的交互模式？请看本期关注。

不断突破。当未来不到 100 克重的近眼显示设备成为“新世代”的标准配置，我们或将真正实现科幻小说中描绘的超现实主义数字空间——“元宇宙”中的图景。

不同行业的“透视眼”

2023 年，全球 VR 游戏市场规模突破 180 亿美元，一些游戏作品凭借逼真的交互体验，重新定义了游戏的叙事边界。游戏中，用户可通过手势抓取虚拟物体、攀爬悬崖峭壁，甚至能与 AI 角色进行眼神交流。

不仅在游戏领域，近眼显示设备慢慢成为不同行业的“透视眼”。

在工业维修领域，德国西门子子公司研发的 AR 辅助系统，能够通过智能眼镜将设备内部的三维模型与真实机械结构精准叠加——当工程师检修燃气轮机时，目光所及之处会浮现红色箭头标记故障点；蓝色线条指引拆解路径，甚至浮现半透明动画，演示螺栓旋转角度。据悉，这套系统使复杂设备的检修效率提升 40%，新手工程师的培训周期从 6 个月缩短至 8 周。

在医学教育领域，美国约翰·霍普金斯大学打造的 VR 手术模拟器，内置 2000 多种人体组织物理特性参数。在腹腔镜等模拟操作中，虚拟血管会因操作力度过大而“破裂”，脏器组织也能呈

现真实解剖层次的阻力感。此外，模拟操作系统实时生成患者生命体征曲线，若操作失误导致“血压骤降”，场景将立即冻结并弹出三维错误分析图谱。目前，这种零风险的“虚拟手术室”已培养出 3000 余名通过腹腔镜专项考核的外科医生。

在军事领域，近眼显示技术的出现，为拨开“战场迷雾”提供了新利器，进一步拓展了人机交互的可能性，有利于形成作战中的新优势。一方面，指挥员佩戴近眼显示头显，可“透视”山体查看隐蔽工事，手势拖拽即可模拟敌方兵力移动路径，有助于增强态势感知、提高决策速度和准确性。另一方面，近眼显示技术在班组作战和夜战中具有较大的价值，士兵装备 AR 战术眼镜后，可通过近眼显示设备界面获得多重信息流：弹道计算机实时显示瞄准修正参数、敌我识别标签悬浮于数百米外目标头顶、夜视微光图像等数字信息……这些能力在提高单兵作战以及班组协同作战方面具有重要作用。

如今，近眼显示技术在医疗、教育、工业、军事等领域深度渗透，推动“元宇宙”逐步应用于网络社交、网络游戏、网络经济等领域，预示着一个打破虚实界限的时代正在到来。正如 19 世纪立体镜的发明者无法想象今天的近眼显示设备进步之快，我们亦难以预言未来近眼显示技术将如何重塑千行百业。唯一确定的是，这场关于视觉的革命，才刚刚拉开序幕。

想象一下，夜晚走夜路时，由新型智能纤维材料制成的“会发光的”书包或服饰，会让你及时被司机看到，避免安全隐患；在游乐场游玩时，当地面嵌入的智能纤维材料检测到有人摔倒时，管理人员会收到信号，及时赶来帮助……未来，新型智能纤维材料或将为人们的生活提供较大便利。

——用于家居设备。

当“会发光的”新型智能纤维材料用于可视化的传感、交互甚至高亮照明，人们可以实现对智能家电等家居设备的无线遥控。

研究人员表示，接下来，他们将深入研究如何让新型智能纤维材料更有效地从空间中收集能量，并以此驱动纤维材料具备显示、变形等更多功能。

随着科技不断进步，蓬勃发展的新型智能纤维材料，正以其独特的魅力和潜力渗透到生活的方方面面，助力我们走向一个更加智能、便捷、舒适的未来。

科技云

科技连着你我他

■本期观察:黄辛舟 刘 柳 黄语霁

全固态锂硫电池



据悉，北京大学材料科学与工程学院科研团队开发了一种新型玻璃相硫化物固态电解质材料，并采用该材料研制出全固态锂硫电池。

研发人员表示，这款电池具备优异的循环稳定性和快充能力，充电效率较高。电池采用的新型玻璃相硫化物电解质材料，不仅充当锂硫电池正极内部的超离子导体，还通过碘的氧化还原原离子作用激活了传统电池中难以进行的两相界面反应，实现了电池性能的提

升。新型全固态锂硫电池在快充性能、循环寿命等方面实现了较大突破，为动力电池的未来发展提供了新的技术路径。

锂陶瓷电池



德国汽车工程公司 FEV 和中国台湾辉能科技公司携手开发出一款锂陶瓷电池。据悉，这款电池只需快充 10 分钟，就能够支持电动汽车续航 1000 公里。

锂陶瓷电池的阳极突破性地采用了 100% 的硅复合材料，与常规的石墨阳极相比，其容量密度提高了近 10 倍。

与液态电解质相比，锂陶瓷电池的固态电解质能防止电解液泄漏造成的短路风险，保障了电池的稳定运行。值得一提的是，该电池的模块化设计使得电池维护变得更加容易，提高了电池的利用率，并对环境产生积极影响。

此外，该电池在电动汽车、电动游艇等领域具有广阔的应用前景。凭借续航里程长、安全性高等优异性能，锂陶瓷电池将为用户出行带来更加便捷和安全的体验。

全硅基电池



近期，美国一家科技公司成功研发出全球首款全硅基电池。这一创新成果可为电动汽车及储能领域的需求提供新的支持。

全硅基电池的核心优势在于其采用了硅基负极材料，如 SCC55 硅基负极材料。这种材料具有优异的储能能力，能够在有限的空间内储存更多的电能。这意味着，在相同的体积下，电动汽车能够储存更多电能，从而拥有更长的续航里程。

凭借快充能力强、长循环使用寿命和高能量密度等优异性能，全硅基电池有望成为电动车电池的理想选择。此外，这款电池未来还可以应用于储能系统、太阳能发电等领域，为可再生能源的利用提供有力支持。

新看点

纤维广泛存在于人们的生活中。它是一种呈丝状或线状的材料，一般用来制作衣物、家具和其他产品。

去年底，我国东华大学材料科学与工程学院研发出一种新型智能纤维。由这种纤维编织制成的智能纺织品，无需依赖芯片和电池，便可实现发光显示、触控等人机交互功能。这一突破性成

新型智能纤维材料来了

■陶 勇 朱海涛

果为人与环境的智能交互开辟了新可能，相关成果已发表于《科学》杂志上。

研究人员称，他们实现了将能量采集、信息感知、信号传输等功能集成于单根纤维，使新型智能纤维材料能够感知外界环境变化，并根据这些变化自动调整自身性能或形态。

新型智能纤维材料具有 3 层鞘芯结构：芯层为感应交变电磁场的纤维天线，中间层为提高电磁能量耦合容量的介电层，外层为对电场敏感的发光层。

值得注意的是，与其他纤维需要依

靠芯片和电池才能发光发电不同，新型智能纤维材料在没有芯片和电池的情况下，也能发光发电。

发光发电的能量，来源于我们周围的环境。

环顾我们的日常生活，电磁场和电磁波无处不在。散布在环境中的这些电磁能量，就是这种新型智能纤维材料的驱动力。

通常，电磁能量会在大气中慢慢散失掉。而利用人体耦合技术，人体作为能量交互的载体，可使电磁能量优先