# 像差校正技术：实现高通量定量相位成像

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/30964.html

*本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！*

**像差校正技术：实现高通量定量相位成像**。 导读

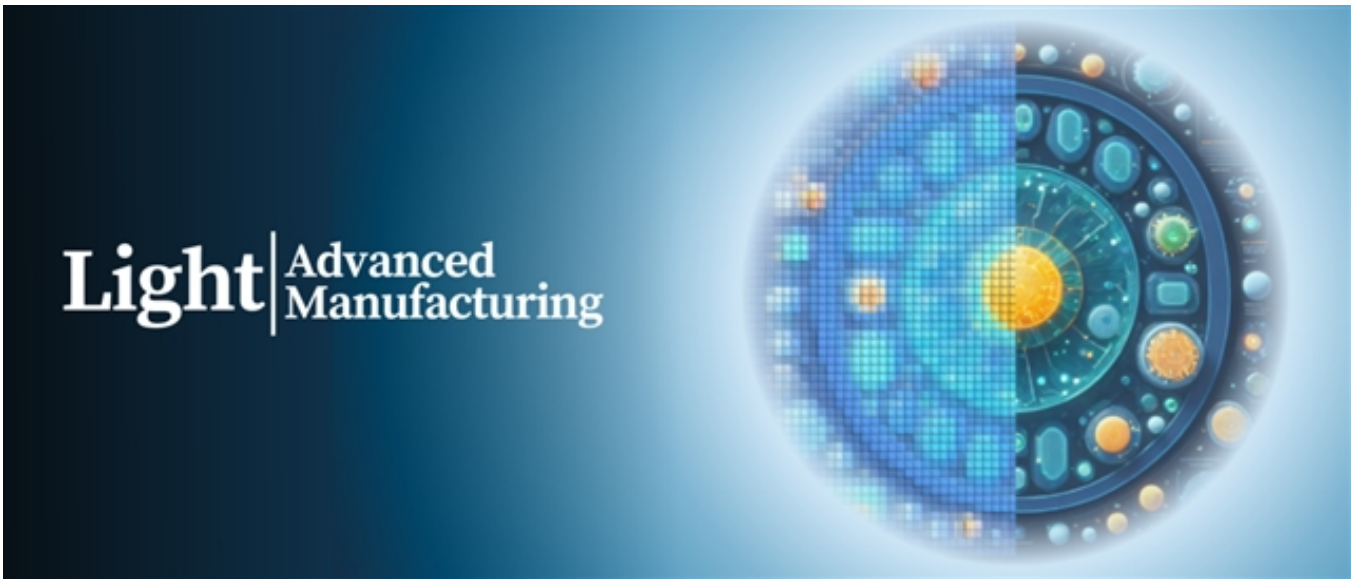
近日，南京理工大学左超教授团队、华沙理工大学Maciej Trusiak教授与西安电子科技大学郜鹏教授合作提出了一种创新的高通量成像技术，名为基于像差校正的光强传输定量相位成像技术（Transport-of-intensity QPI with Aberration Correction，TI-AC）。

这项技术融合了像差校正与超分辨率成像技术，可兼容大像素尺寸传感器以实现宽视场成像，并可提供超越奈奎斯特-
香农采样分辨率理论极限两倍的成像分辨率，从而实验大视场、高分辨成像。

该研究团队在实验中展示了TI-AC技术在定量相位分辨率靶标和未染色生物细胞上的应用，证明了该技术能够在10×放大倍率、1.77 mm2视场以及0.4数值孔径（Numerical
aperture，NA）条件下，将成像分辨率提高至约345 nm，实现了两倍提升。

该成果有望在生物医学、药物发现和癌症诊断等具有高通量成像需求的领域得到广泛应用。

该成果以High-throughput transport-of-intensity quantitative phase imaging with aberration correction为题发表在Light: Advanced Manufacturing。



艺术效果图：基于像差校正的光强传输定量相位成像技术

图源：撰稿人

研究挑战

定量相位成像技术（Quantitative Phase Imaging，QPI）能够精确测量光学厚度，从而揭示未经过染色处理的生物样品的微观结构与形态特征。这项技术提供了一种无需标记的观察方法，受到了细胞研究和生物医学领域的广泛关注。光强传输方程（Transport of Intensity Equation，TIE）是一种非干涉相位恢复方法，通过测量多幅轴向离焦光强图以实现定量相位重构。然而，在采用圆形部分相干照明的传统显微成像系统中，部分相干照明将削弱光强图中的相位衬度，导致成像分辨率降低的问题。

此外，生物样本的光学非均匀性和显微镜中的机械干扰导致存在空间/时间变化的像差，尤其是在大成像视场（Field of View，FOV）下显著降低了长时程观测的成像性能。而像差波动与样本和环境密切相关，难以通过使用固定的光学设计进行补偿。因此，在大视场下实现高精度和高分辨率的部分相干照明QPI仍然是一大关键挑战。

技术攻关

基于环形匹配照明的明场显微成像系统所采集的12幅轴向离焦光强堆栈，TI-AC技术通过结合合成孔径相位恢复、像差校正和像素超分辨成像技术，可实现具备高通量成像能力的像差校正定量相位成像（图1）。TI-AC能够通过像差校正消除视场内部空间/时间变化像差的负面影响，从而提高活细胞长时程观察的成像质量。

与传统基于TIE的QPI方法（需要满足奈奎斯特-香农采样率）相比，TI-AC方法可与具有较大像素尺寸的传感器相兼容（2倍像素混叠），因此可提供具有4倍提升的成像视场（FOV）与2倍提升的成像分辨率的高精度定量相位成像。与傅里叶叠层成像（FPM）对匹配照明条件具有严格要求不同，TI-AC基于离焦距离堆栈进行成像，因此对环形照明条件无需严格匹配，展现了更大的应用灵活性。

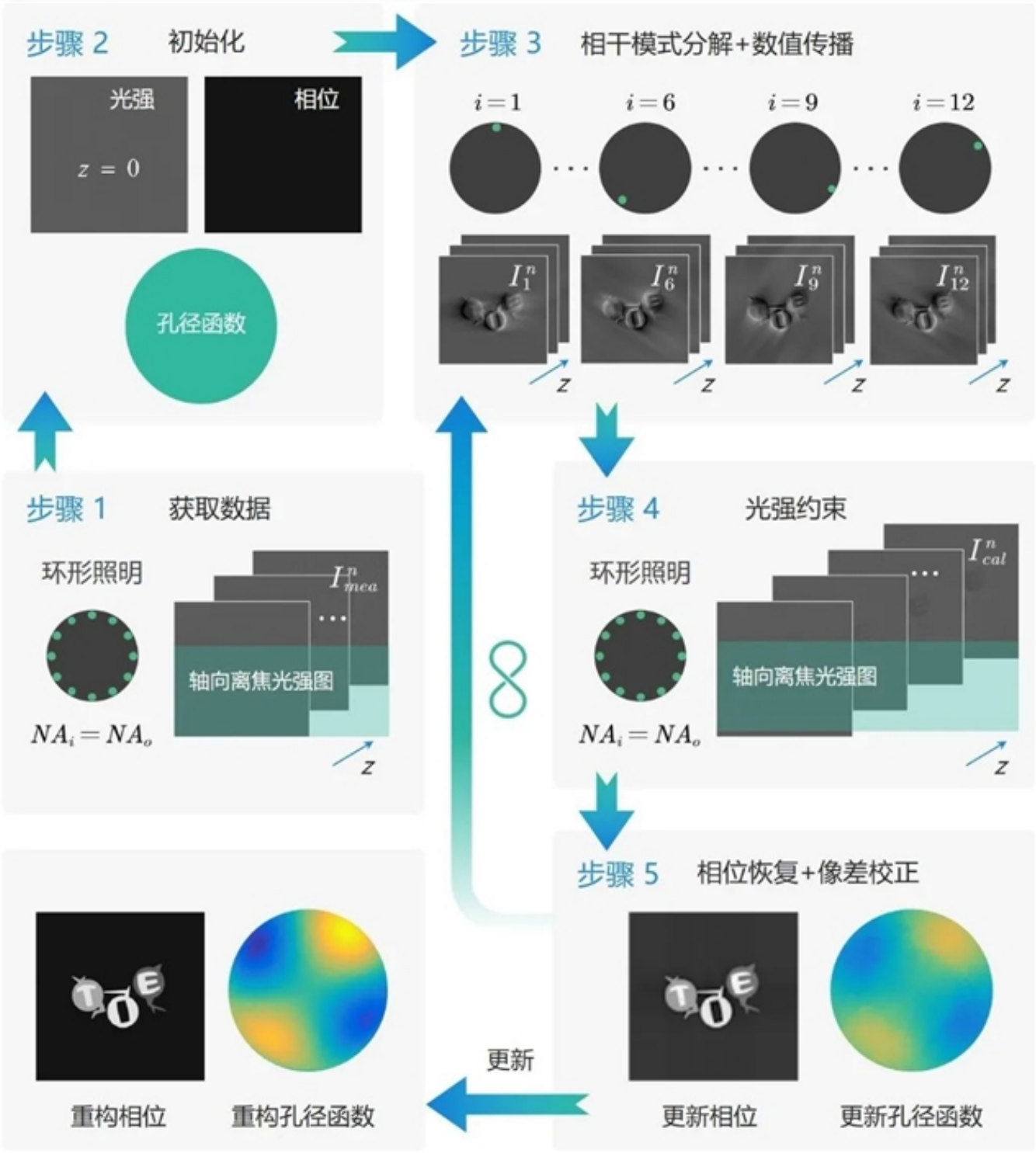



图1：算法原理流程图

图源：Light: Advanced Manufacturing / 图译：撰稿人

技术亮点

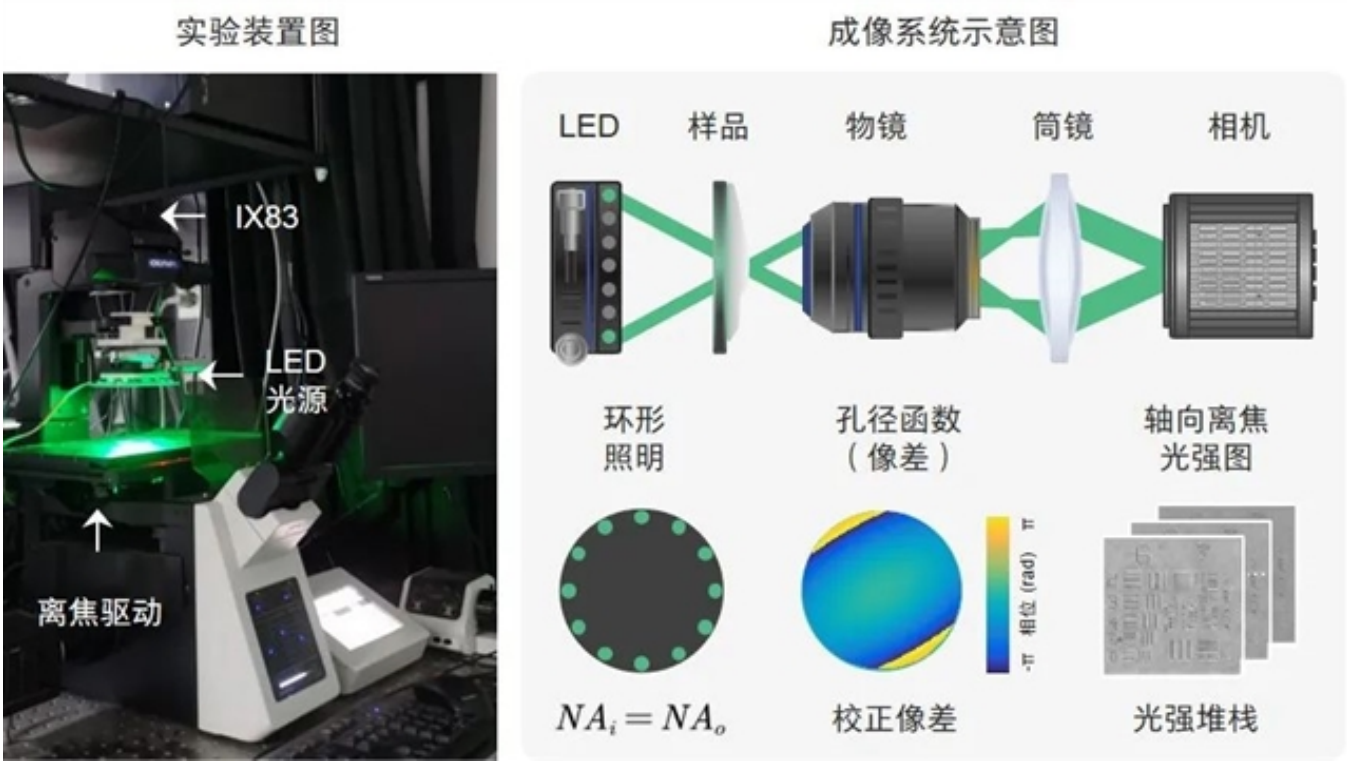



图2：系统示意图

图源：Light: Advanced Manufacturing / 图译：撰稿人

基于以匹配环形照明为光源的明场显微镜（图2），TI-AC的超分辨成像能力可通过使用定量相位分辨率靶标（Benchmark QPT）进行验证（图3）。TI-AC明确地考虑了传感器像素合并模型，并将像素超分辨算法直接整合到相位恢复和像差校正过程中，从而同时实现合成孔径相位恢复、像差校正和像素超分辨成像。与未经像差校正恢复的相位相比，TI-AC恢复的相位可实现两倍分辨率提升。TI-AC法可有效去除由于奈奎斯特-香农采样率不足所引起的马赛克效应，并实现了与理论半宽分辨率一致的衍射受限分辨率。这表明TI-AC法可有效校正由显微镜机械不稳定性所引起的像差，从而提高显微平台的成像分辨率并实现高通量定量相位成像。

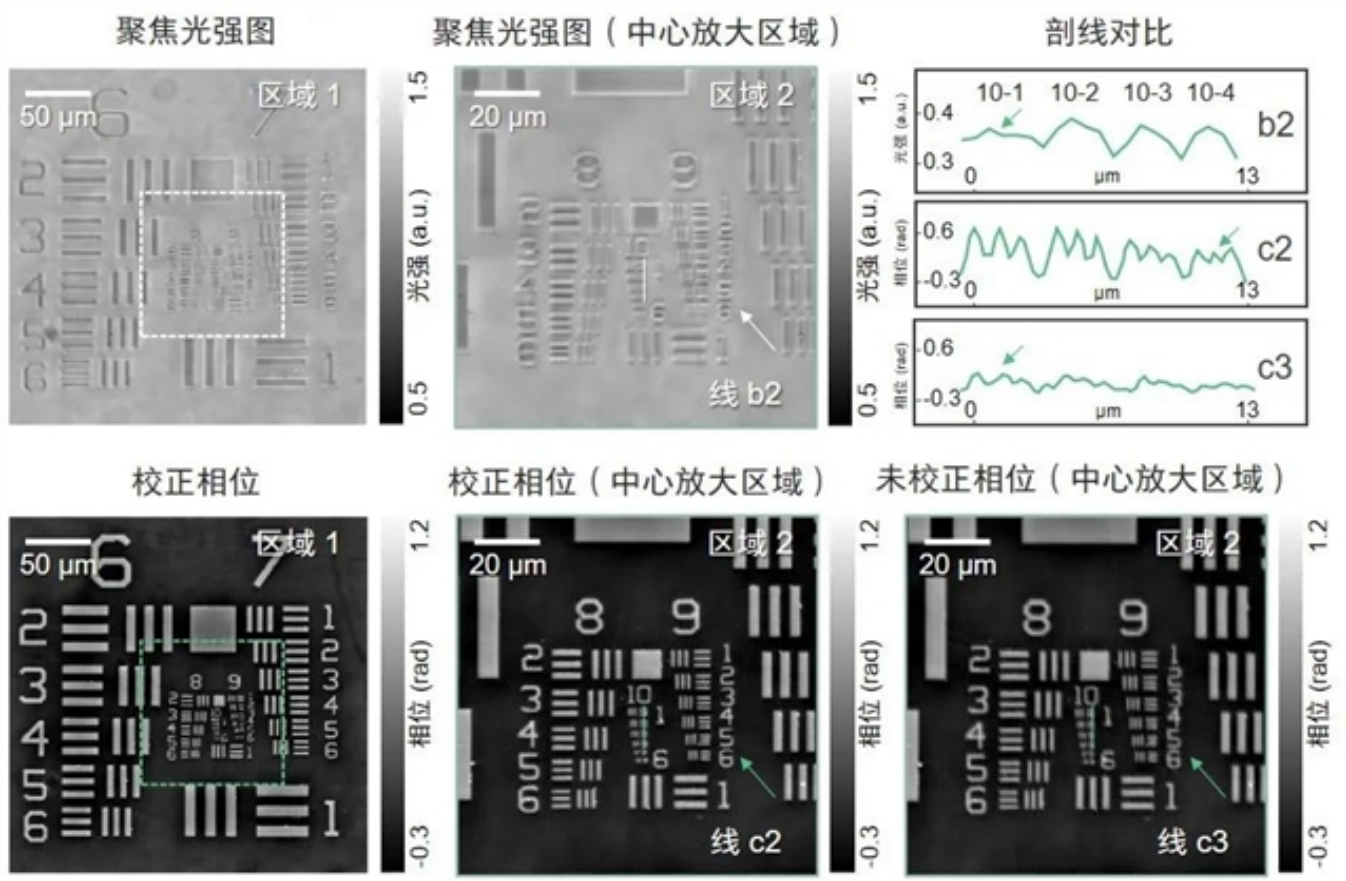



图3：基于定量相位分辨率靶标验证TI-AC法的超分辨成像能力

图源：Light: Advanced Manufacturing / 图译：撰稿人

如图4、图5与视频1所示，在对未染色HeLa活细胞实现QPI的实验中，TI-AC法可在严重偏离焦距的光强堆栈中重构出高精度定量相位。这证明了TI-AC法在活细胞的长时程、动态定量相位成像过程中具有自适应校正像差的能力，有望进一步降低非干涉定量相位成像对精密硬件与测量环境的依赖性。

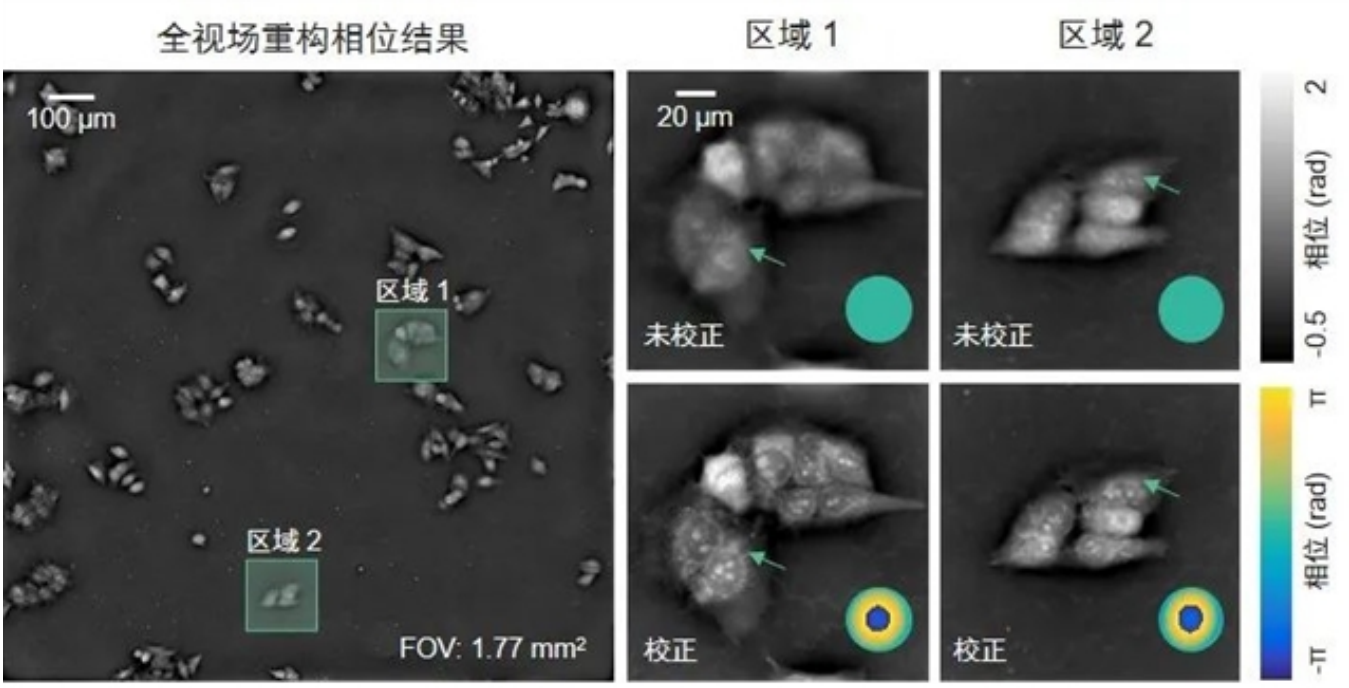



图4 ：HeLa活细胞重构相位：全视场重构相位（左），未校正/校正相位（右）

图源：Light: Advanced Manufacturing / 图译：撰稿人

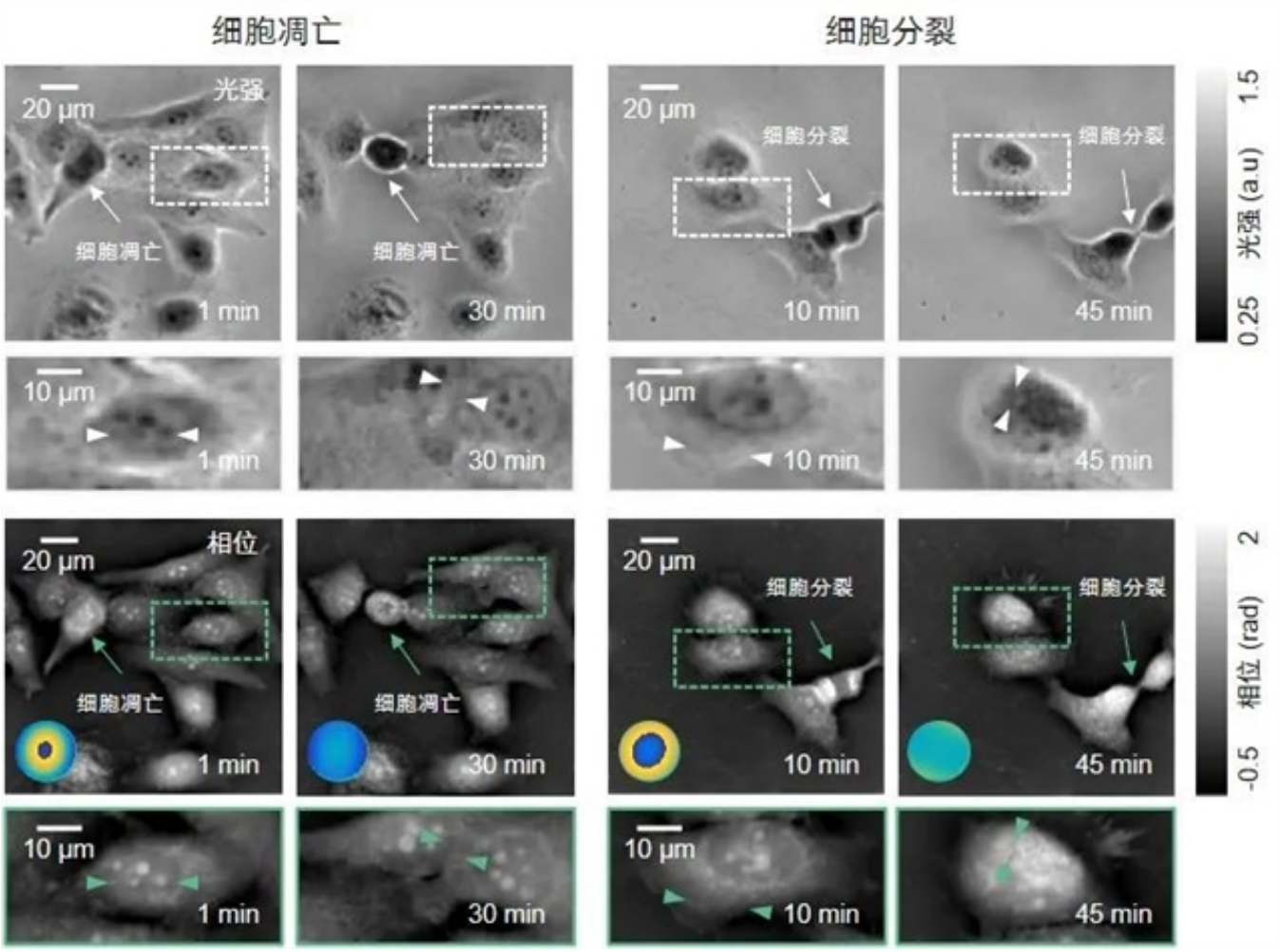



图5：HeLa活细胞重构相位：细胞凋亡光强与对应相位（左），细胞分裂光强与对应相位（右）

图源：Light: Advanced Manufacturing / 图译：撰稿人

总结展望

本文介绍了一种新的高通量定量相位成像方法——基于像差校正的光强传输定量相位成像技术（TI-AC）。

TI-AC具备像差校正能力，可消除视场内部空变像差与随时间变化像差所引起的降质问题，从而提高长时程定量研究的成像性能。该方法通过像素超分辨和部分相干照明下的自适应像差校正扩展了基于光强传输的定量相位成像技术，提高了成像信噪比与成像通量。这为细胞研究和生物医学等领域的高精度、高通量成像提供了新的可能性。

然而，为了降低运动伪影对相位恢复质量的不利影响，需要进一步降低输入数据量。近期，深度学习技术已成功并广泛地应用于计算光学成像领域，以解决各种非线性逆问题。因此，未来计划将深度学习引入到该算法中以降低数据处理需求，进而加快成像速度。（来源：先进制造微信公众号）

相关论文信息：https://doi.org/10.37188/lam.2024.045

特别声明：本文转载仅仅是出于传播信息的需要，并不意味着代表本网站观点或证实其内容的真实性；如其他媒体、网站或个人从本网站转载使用，须保留本网站注明的“ 来源 ”，并自负版权等法律责任；作者如果不希望被转载或者联系转载稿费等事宜，请与我们接洽。
作者：左超等 来源：《光：先进制造》

更多 科学进展 请访问 https://www.iikx.com/news/progress/

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，爱科学iikx.com转发