

---

# 研究揭示尺寸依赖的边界效应和非厄米趋肤效应的脆弱性及稳定性

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/16553.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！*

对于一个宏观的量子系统，通常边界条件的改变对体态能谱是一种微扰效应。一般来说改变边界条件不会对体系的能谱结构和波函数产生剧烈改变，这也是为何理想周期边界条件下得到的能谱结构通常能反映存在边界的实际晶体材料的能谱结构的原因。这样一种直观的认识对于一些非厄米系统来说并不总是成立，例如，最近在一些非厄米系统中发现存在的非厄米趋肤效应（Non-Hermitian skin effect）。当系统的边界条件从周期边界改变为开边界条件时，这类非厄米体系的能谱结构会发生剧烈变化，同时系统的体态由布洛赫扩展态变为局域在系统某一个边界上的趋肤态。同通常的拓扑体系中出现的边缘态不一样，非厄米体系在边界上出现的趋肤局域态数目与体系格点数是同一量级的。

非厄米系统可以用来作为开放量子系统的短时行为的有效描述，也被广泛用于描述耗散或非互易的光学体系。近年来，非厄米系统的研究受到了极大关注。由于没有厄米条件的限制，非厄米体系的能谱通常都是复数能谱，这使得其能谱结构出现了极大的丰富性。非厄米体系也展示了很多新奇的不同于传统厄米体系的现象，如传统体边对应的失效及能谱结构和波函数对边界条件的敏感性等。

为理解非厄米系统中的边界敏感性问题，近日，中国科学院物理研究所/北京凝聚态物理国家研究中心凝聚态理论与材料计算重点实验室研究员陈澍等系统地研究了具有推广边界条件的非厄米体系问题。他们通过严格求解具有推广边界条件的非厄米体系的本征能谱及波函数，揭示了在非互易体系中边界微扰会以随格点数目指数倍增长的方式得到增强，从而使得即使是一个很微弱的边界微扰作用在大尺寸系统中也会展现出很强的非微扰效应。这一工作揭示了尺寸依赖的边界敏感性的本质，同时也揭示了出现格点依赖的非厄米趋肤效应的内在原因。该结果表明非厄米趋肤效应在热力学极限下对微弱的连接首尾的边界微扰也是不稳定的，即表现为对某类微扰的脆弱性。他们的严格解结果也揭示了在一些非厄米拓扑系统，例如非厄米Su-Schrieffer-Heeger模型中，在一定边界条件下会出现不同于周期边界和开边界条件下的新相图。这也展示了非厄米体系中边界效应带来物态的丰富性。相关研究成果发表在《物理评论快报》上。

另外，为了定量理解准周期无序对非厄米拓扑及非厄米趋肤效应的影响，研究人员和南开大学教授周麒合作，将数学中的算子全局理论应用到非厄米准周期系统的局域转变研究上，系统研究了非厄米准晶系统中的局域转变问题。通过对Lyapunov指数分析，他们提出了一个严格的方案，用于研究具有复化相位因子和非互易跃迁项的一般非厄米准晶模型。在这个框架下，他们不仅严格证明了为什么PT（宇称-时间）对称性破缺点与安德森局域转变点是一致的，还得到了很多有趣的结果，比如，系统能谱的拓扑缠绕数与Lyapunov指数的斜率直接相关，能谱对准周期无序微扰

具有鲁棒性等。研究结果也显示非厄米趋肤效应对无序微扰是稳定的，只有当无序强度超过一个临界值时才能完全破坏非厄米趋肤效应。相关论文发表在《物理评论B》上。

该工作获得科学技术部国家重点研发计划、国家自然科学基金委和中科院战略性先导科技专项的资助。

论文链接：[1](#)、[2](#)

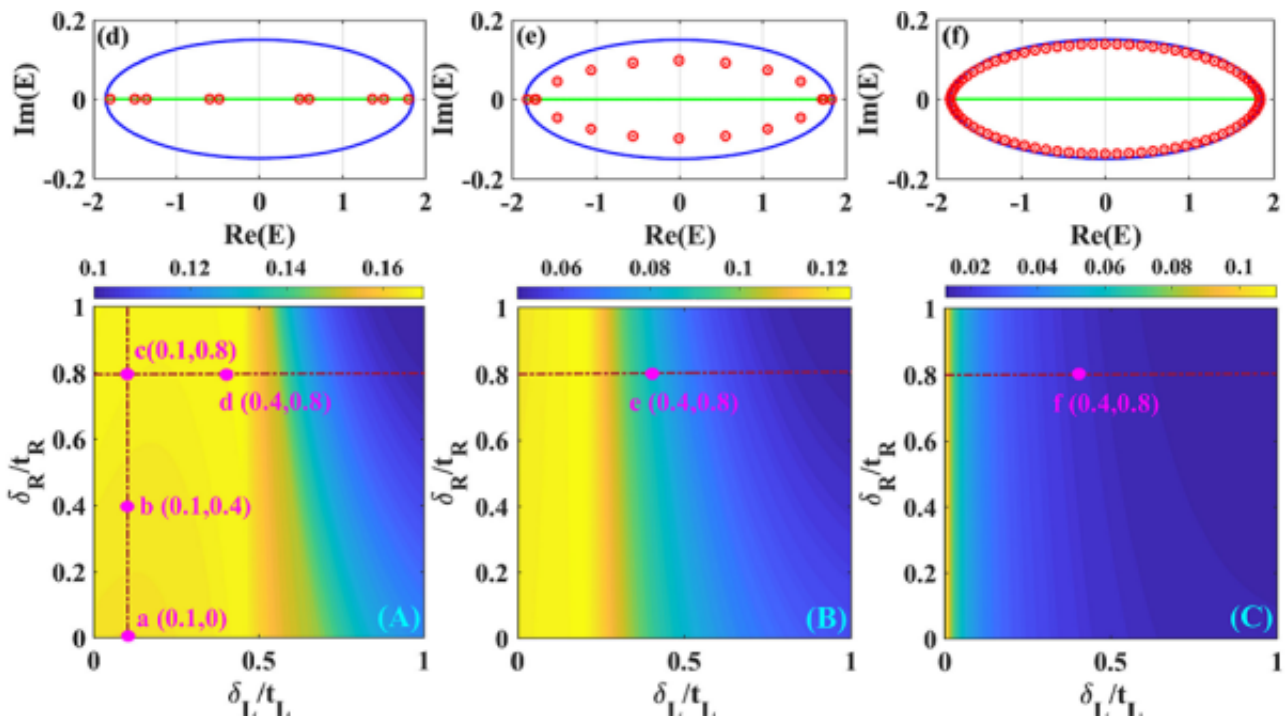


图 (A) - (C) 边界参数空间不同尺寸下非厄米Hatana-Nelson模型的波函数的平均IPR (Inverse participation ratio) 变化的对比。(A) (B) (C)分别对应系统格点数目为 $N=10, 20, 80$ ，其中 $(0, 0)$ 和 $(1, 1)$ 分别对应开边界和周期边界。IPR的大小反映了归一化波函数的空间分布的局域或扩展程度。蓝色标记的区域接近扩展态，黄色标记的区域接近趋肤态。(d) (e) (f)表示同一参数不同尺寸下系统的能谱【分别对应(A) (B) (C)图中的d、e、f点】。随系统尺寸增加，系统的本征值从落在开边界谱域的全实谱逐渐演化为接近周期边界复能谱的分布。能谱随系统尺寸的变化也展示了尺寸依赖的非厄米趋肤效应的存在。当系统尺寸趋于无穷大极限时，只有参数空间坐标轴Y轴（或X轴）上才可能存在稳定的非厄米趋肤态。

研究团队单位：物理研究所

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](https://www.iikx.com)转发