
图论揪出杂乱网络里的“几何真身”

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/41139.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！

图论揪出杂乱网络里的“几何真身”。面对一张杂乱无章的节点连线图，可能会觉得它毫无对称性可言——既没有旋转对称，也没有镜面对称。但那些看似歪歪扭扭的离散系统，很可能只是把对称性藏了起来；只要换一个数学滤镜，隐藏的几何美就会原形毕露。

近日，宁波东方理工大学理学部副教授高文龙团队，联合香港理工大学、香港大学、上海交通大学和深圳大学等相关团队，发表了一项关于隐藏对称群的系统性研究，证明了看似不具备几何对称性的离散系统，可能只是把对称性藏在了不合适的表象中；经适当变换后，这些潜在对称性可以还原为清晰可见的几何对称性，相关成果发表在物理学顶级期刊《物理评论快报》。

对称性是物理定律的基本组织原则，它决定守恒量、约束相互作用，并深刻影响物质的结构与相变。我们熟悉的晶体、雪花、六角蜂巢，都因为具有明显的旋转或镜像对称，才表现出特殊的物理性质。

但现实中的很多系统（比如复杂分子网络、人工超材料、量子点阵列）并不长成规矩的几何形状。那么，它们是不是就没资格享受对称性带来的物理红利？答案是否定的。

所谓潜在对称性（Latent Symmetry），是指原始物理系统中并不显眼、但对选定自由度作等谱约化（Isospectral Reduction）后会在有效模型中显现的对称性。

这一切源自图论：网络被表示为顶点、边及其矩阵，系统谱与结构信息由此可以一起分析。过去的研究已发现，潜在对称性能够带来能量简并、平带和拓扑态等效应，但它与显式空间对称性有何深层次联系，即其物理本质是什么，一直缺少统一回答。

对此，研究团队建立了潜在—几何对应：任何具有潜在对称性的系统，都可以通过相似变换映射为一个能谱不变、但几何对称性显式可见的等价系统；在一般条件下，反向过程也成立。以论文中的11顶点模型为例，原结构只有 C_2 几何对称性，但对其中4个顶点作等谱约化后会出现正四面体的 T_d 潜在对称群，从而解释原先看似偶然的三重简并。

三维潜在对称性高阶拓扑绝缘体：上排为理论模型与角态，下排为电路设计、样品及阻抗测量。红色曲线对应角部节点，实验在1.12 MHz清楚显示角态分布。课题组供图

该成果带来的直接启示是，凡依赖几何对称性的效应，原则上也可在潜在对称系统中实现。团队以11顶点潜在对称结构为单元，构建四面体晶格，并制作由三层PCB、10个单元组成的三维拓扑电路。阻抗测量在1.00和1.12 MHz附近出现角态特征峰；1.12 MHz下的阻抗空间分布进一步显示能量集中在角部。

这项研究把潜在对称性从一种代数诊断推进为可设计、可实验验证的物理工具。其框架适用于广泛离散系统，有望用于经典波、固体材料、凝聚态、量子信息与量子模拟，并为在莫尔系统、周期性驱动系统（Floquet系统）等更复杂平台中寻找隐藏对称结构提供新的入口。

宁波东方理工大学为论文第一单位。宁波东方理工大学与香港理工大学2023级联培博士生张鑫宇、叶若涛为论文第一作者。高文龙、深圳大学教授陈梦琳、宁波东方理工大学卓越博士后Malte R?ntgen为论文通讯作者。（来源：中国科学报 陈彬）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1103/hrdv-qcf6>

作者：高文龙等 来源：《物理评论快报》

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