
电动飞机要起飞，先得算清这笔“能量账”

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/40374.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！

电动飞机要起飞，先得算清这笔“能量账”

。当一架电动飞机降落机场，它需要的不仅是一个停机位，更是一套能快速补能的电力系统。这个看似简单的场景背后，隐藏着航空业绿色转型中最棘手的系统性问题：未来的机场电网能否承受瞬时高负荷？哪些航线应优先“油改电”？回答这些问题，需要一张预见性的“能量地图”——清晰描绘航空运输网络中能量需求的时空流动轨迹。

近日，由华南理工大学、香港理工大学、大连理工大学、澳门大学等机构合作完成的一项研究，提出了一套面向航空运输网络的时空能量流预测框架。相关成果发表于《细胞报告-物理科学》。该框架能够同步预测未来航线的“新增”“保留”或“移除”状态，并量化其对应的能量消耗变化，为机场设施改造和电网协同规划提供了数据驱动的决策工具。

论文共同通讯作者、华南理工大学教授朱继忠对《中国科学报》表示，该框架有望为航空绿色转型中的关键决策提供支撑，尤其在“机场改造优先级”“航线电动化排序”以及“机场与电网供需协调”等实际问题中，提供前瞻性的科学参考。

航空减排，为何是块“硬骨头”

航空业减排已成为全球交通绿色转型的关键战场。在国际能源署“2050年净零排放”目标下，航空电气化被视为提升能效、降低温室气体排放的重要技术路径之一。然而，与传统燃油补给不同，电动飞机的大规模应用远非简单的能源替换。

航空运输在促进人员流动与经济联系的同时，其碳排放增长亦十分显著。研究显示，全球航线持续增长，航空排放量大，减排压力持续加剧。当前，航空绿色转型的主要技术方向包括可持续航空燃料、电动飞机及氢能飞机等。

电动飞机一旦进入规模化运营，机场将面临充电、换电和电力调度的复杂挑战。尤其在多个航班集中充电的时段，机场用电负荷将急剧攀升，对区域输电线路、变电站及电网协同能力提出更高要求。



朱继忠（前排左五）爱思科团队。受访者供图

“实现机场与电网的供需平衡，前提是准确预判不同航线、不同机场未来的能量需求分布。”朱继忠指出，航空业减排是全球交通绿色转型中一块公认的“硬骨头”。

正是基于这一现实需求，研究团队着手从航空网络的历史演化规律中构建预测模型。他们依托我国2014年至2024年的航班运行数据，搭建了多输出机器学习框架，对航空运输网络中的能量使用流进行长期预测。

研究发现，随着网络演化，枢纽机场趋向于持续集聚高强度能量流，而非枢纽机场的航线则更容易流失。这一趋势对电动飞机的未来航线布局和地面充电资源配置具有重要指导意义。

既判“线存废”，更算“能耗账”

过往的航空网络研究多聚焦于静态网络中的枢纽识别、关键航线排序或客流量预测；即便涉及航线预测，也常止步于判断某条航线是否存在，较少进一步估算其承载的能量需求。然而，现实中的航空网络始终处于动态演化中，新航线持续涌现，既有航线亦不断退出，不同时段的需求、效率与能耗差异显著。

针对这一研究空白，团队提出了一种“双任务、分阶段”的数据驱动预测框架。模型首先对航线连接状态进行分类——判定其在下一阶段为“新增”“保留”或“移除”；其次，对保留或新增航线的能量需求进行回归预测。简言之，该框架不仅回答“该航线是否存在”，还量化“该航线

将消耗多少能量”。

为实现该目标，团队收集并分析了2014-2024年间约200万条月度航班记录，构建了中国航空运输网络的月度机场级网络。他们以月度航班记录为基础，综合航班计划与实际运行数据，计算可用座英里、收入旅客英里、客座率等指标，并结合空气动力学与热力学参数，估算各航线、各月份的能耗与碳排放水平，最终形成“能量加权图”。在此基础上，团队提取多类拓扑相似性特征，结合机器学习模型进行联合预测，并对分类与回归性能进行了系统比较。

结果表明，航空网络的拓扑结构特征对未来能量流变化具有较强预测能力。引入能量需求等权重信息后，模型对航线新增与移除的识别准确率显著提升。进一步分析显示，从全国尺度到广州市等城市尺度，航空能量流均呈现明显的“枢纽-辐射”结构——主要机场承担着高能量密度航线，反映出航空网络日益增强的中心化趋势。

论文共同通讯作者、大连理工大学副教授杨浩森表示，研究还揭示了航线网络的持续演化特性：2014-2024年间，航线的新增与移除始终并存，并呈现周期性波动；总能量需求总体呈增长态势。

模型对2019年、2022年及2024年的典型预测显示，全国航空能量流较为密集，广州等区域性枢纽展现出强劲的能量集聚能力，表明网络正呈现恢复趋势。

该发现表明，航空能量消耗并非线性增长，而是受网络结构调整、外部冲击和区域枢纽效应共同影响的复杂过程。

论文第一作者、华南理工大学博士研究生董瀚江认为，为未来电动飞机应用做好准备，需从网络演化的动态视角理解航空能量流的空间重构，而非简单沿用静态分布图。

机场或将演变为区域“能源节点”

除航空网络自身的演化预测外，研究团队还着眼于粤港澳大湾区，考察了未来航空网络与铁路、港口、公路等交通基础设施的空间协同关系。预测显示，至2030年和2060年，大湾区主要城市的机场、铁路站点、高速公路及港口之间将呈现出更紧密的空间叠加与协同趋势。

航空与铁路协同方面，随着高铁网络持续延伸，部分短途航空出行有望被替代，从而减少高碳排放的短程航线，优化交通用能结构。航空与公路协同方面，机场未来不仅需满足飞机充电，还可能兼顾地面服务车辆及周边电动车的充电需求，逐步演变为区域能源服务节点。航空与港口协同方面，随着多式联运体系完善，部分长距离货运有望通过海运替代高能耗空运，提升整体物流链的能效表现。

“未来机场不应仅视为交通节点，而应纳入区域能源系统和综合运输系统统筹规划。”香港理工大学博士崔梓钰指出。这一视角将航空用能预测从单一行业问题，拓展为区域能源—交通协同优化的系统性课题。

朱继忠表示，下一步研究可纳入机场容量、天气与空域限制、区域经济指标、电网约束及电价等外生变量，提升模型的泛化能力与实际适用性；同时可探索动态图神经网络等新方法，在能源层面引入更细粒度的飞行阶段模型，并将电动飞机机队构成、充电物流与机场电力系统约束耦合，推动“航空—电网”一体化优化研究的深化。

从更宏观的视角看，该研究的价值不仅在于提供预测工具，更在于揭示了一个核心事实：电动飞机的未来不只是技术命题，更是系统工程命题。当电动飞机的技术准备就绪之时，这套预测体系或许能帮助决策者回答一个最务实的问题：第一步，该从哪里开始？

相关论文信息：<https://doi.org/10.1016/j.xcrp.2026.103339>

作者：朱汉斌 来源：中国科学报

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