

# 可靠的轴辐枢纽网络与柔性

## —如何从航线网络设计上解决由天气和空管引发的航班延误与取消?



国家自然科学基金面上项目“中断事件下的轴辐枢纽网络与柔性”，项目负责人梁湧

一直以来，物流网络，通信网络，以及能源网络等在国民经济的稳定发展中扮演着十分重要的角色。随着生产力的进步以及全球化的进程，各个领域内的竞争愈加激烈，在这之中保持优势就必须不断提高和改善资源的有效利用和行业的服务水平。对于物流、通信、能源等重要的网络设计问题来说，如何减少成本同时增加网络的可靠性，则成为了企业乃至政府需要大力解决的紧迫问题之一。

轴辐枢纽 (Hub-and-spoke) 网络以其精简而高效的网络结构被当今的主流航空公司以至货运物流、电信传输、能源等行业所广泛采用。在轴辐枢纽网络的设计中，轴是指作为中心枢纽 (hub) 的节点，而辐 (spoke) 则为连接中心节点和非中心节点的运输路径。在运营时，轴辐枢纽网络中的流总是先由各节点运至枢纽中心的节点，再依据目的站进行集中运输。这种网络结构的优势在于可以减少点到点的连接，并在网络干线上形成规模效应，从而提高资源利用率，降低单位运输成本。另外，这种规模效应可以带动枢纽所在区域及城市的发展，并且通过枢纽集中后的物流需求为企业的服务定价和利润提升提供更多空间。

然而，轴辐枢纽设计的缺陷在于网络在面对由自然灾害、罢工或其他不可抗因素引发的中断事件 (disruptions) 时会变得异常脆弱。同时，中断事件的影响可能会在时间和空间上被指数放大，并导致进一步的损失，这种放大效应通常称作级联效应 (Cascading Effect)。2017年8月，哈维飓风登陆了美国德克萨斯州的休斯顿地区，而该地区是美国联合航空公司的主要中心枢纽 (hub airport) 之一。飓风期间，休斯顿的 IAH 国际机场被紧急关闭，上千次经停该机场的航班被迫取消，甚至一些远离休斯顿地区的航线也受到了不同程度的影响。例如，在飓风登陆的第一天，一班由芝加哥飞往旧金山的航班遭到了取消。虽然该航班并不经停德克萨斯州的任何机场，但是当次航班的机组人员无法按照计划由休斯顿随机飞到芝加哥，因此该航班也遭到取消。在网络设计问题中，应避免或控制级联效应的发生。

综上所述，网络设计的一个关键问题是，在不牺牲对资源有效利用的前提下，如何提高网络的可靠性和面临中断事件时的服务水平。围绕这个问题，清华大学经济管理学院管理科学与工程系梁湧教授与工业工程系博士生沈浩等合作者开展了题目为“中断事件下的轴辐枢纽网络与柔性”的专项研究，并获得 2018 年国家自然科学基金面上项目的资助。该研究通过运筹学技术给出了提高网络可靠性的设计模型，开发了高效的模型求解方法，并结合实际数据给出了可靠网络的设计原则。研究仍然采用轴辐枢纽的设计思路，但是参考柔性 (Flexibility) 的思想，通过增加有限柔性来提升整个网络的可靠性。具体的设计思路是，在设计轴辐枢纽网络时，加入对未来可能发生的中断事件的考虑，并且为任意起点到任意目的地的需求在原有路径上提供备用路径。这样在出现紧急状况时，如果一些原有路径因中断事件而被阻断，则可以利用备用路径对需求进行重新组合并优化，这样既提高了网络的服务水平，又保留了轴辐枢纽网络的优点。

资源的有效利用是面对激烈竞争的市场环境的生存之本，而提升服务的可靠性是在竞争之中抢占优势的钥匙。研究的结果不仅会对帮助航空客运企业提升核心竞争力，为乘客、用户带来更好的服务体验，也会帮助其他采用了轴辐枢纽网络设计的行业规避该网络设计在面对中断事件时格外脆弱的缺点，消除中断事件的影响在时间空间两个维度上的指数放大，使得轴辐枢纽网络设计能够得到更好、更广泛的应用。

供稿：科研事务办公室

采编：梁湧 沈浩

编辑：高晨卉

责编：吴淑媛 赵霞