

# 基于社会网络的民航飞行不安全行为影响因素关系研究

王文轲, 张燕, 赵源怡, 刘馨悦

四川师范大学商学院, 成都 610101

**摘要** 为提升民航飞行安全管理水平, 基于不安全行为影响因素的重要性, 通过文献分析和相关者调查的方式确定不安全行为影响因素集合。根据调研数据, 运用社会网络分析(SNA)方法构建了不安全行为影响因素间的关系概念模型, 研究其节点属性、核心—边缘分析、结构特征、影响力及聚类等级情况。结果表明, 关键不安全行为影响因素节点可构成行为连锁反应链, 进而连接成具有较高风险性的行为网络。其中, 关键不安全行为影响因素包括职业倦怠、安全监察、业务技能熟练程度; 存在行为连锁反应链, 包括“知识水平较低—规程标准不够严格—民航飞行不安全”等; 不安全行为影响因素网络的桥节点包括职业倦怠、压力等。

**关键词** 民航飞行; 安全管理; 不安全行为影响因素; 社会网络分析(SNA); 聚类分析

2006—2015年, 中国民航共发生56起事故, 每一次“点发式”的空难事故都会造成巨大的经济损失和恶劣的社会影响<sup>[1]</sup>。民航经济是中国经济的重要组成部分, 高速发展的民航业必然对其安全性提出了更高的要求<sup>[2]</sup>。然而, 中国民航的安全监管能力在185个国家中仅为中等水平, 仍有较大提升空间<sup>[3]</sup>。深入研究飞行不安全行为影响因素及其相互间的互动关系, 提升管理的精准度和有效性, 对降

低安全事故率、提高安全管理水平具有重要意义。

当前, 有关民航飞行不安全行为的研究成果较为丰富, 主要集中在不安全行为产生的机制、过程、影响因素和预防控制等方面。在民航不安全行为产生机制方面, 崔振新等<sup>[4]</sup>通过主观规范等因素阐述了客舱不安全行为致因机理; 郭鹏<sup>[5]</sup>用REASON模型分析了飞行不安全行为的产生过程; Oliver等<sup>[6]</sup>认为对机组不熟悉是飞行失控的主要原因。在

收稿日期: 2019-12-24; 修回日期: 2020-02-07

基金项目: 四川省社会科学规划项目(2019SB111); 四川省科技厅重点研发计划(重大科技专项)2020年国际科技创新合作项目(20GJHZ0039)

作者简介: 王文轲, 副教授, 研究方向为安全管理与绿色创新, 电子信箱: wangwk@sicnu.edu.cn; 张燕(共同第一作者), 硕士研究生, 研究方向为安全管理与绿色创新, 电子信箱: 809935916@qq.com

引用格式: 王文轲, 张燕, 赵源怡, 等. 基于社会网络的民航飞行不安全行为影响因素关系研究[J]. 科技导报, 2020, 38(12): 149-158; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2020.12.014

不安全行为影响因素方面,孙瑞山等<sup>[7]</sup>、曾佩佩等<sup>[8]</sup>研究了飞行员个体特征如心理素质、身体状况等对安全行为的影响;凡勇等<sup>[9]</sup>、陈芳等<sup>[10]</sup>、Jin<sup>[11]</sup>分别研究了维修人员、组织因素、机舱安全对飞行安全的影响。在不安全行为的测量、预防和控制方面,万健等<sup>[12]</sup>提出了基于 Quick-Access-Record 超限事件的飞行风险评价体系;罗帆等<sup>[13]</sup>通过构建安全行为预警系统,确定了风险行为阈值;McDonald 等<sup>[14]</sup>明确了管理行为对保证飞行安全的有效性。诸如上述研究考虑的对象细致而广泛,科学、系统的研究方法及其成果为飞行安全的管理提供了现实依据,使得民航安全水平上了新台阶。

虽然对于民航不安全行为从产生到控制过程的研究较多,但鲜有针对不安全行为自身影响关系及各行为影响关系相互作用机制的研究,这使得在安全管理中难以理清诸多安全行为影响关系之间的联系,难以找出关键不安全行为影响因素并有效实施民航安全管理控制。基于此,本研究采用社会网络分析方法,识别民航飞行不安全行为影响因素,并理清其相互间的关系,甄别关键不安全行为影响因素。

## 1 不安全行为影响因素理论分析

为了获取不安全行为影响因素合集,确定其间相互影响关系,对相关文献<sup>[15-20]</sup>进行了研究分析,把不安全行为影响因素进行了分类,并构建不安全行为影响因素关系概念模型。

### 1.1 不安全行为影响因素分类

飞行不安全行为指不能保障飞机安全飞行,给空勤组、乘客、飞机本身以及其他事物造成威胁危险的行为。民航飞行安全需要飞行员、维修人员、空管等多方面的保证。因此,不安全因素多种多样。本研究将影响民航飞行的影响因素分为内部因素和外部因素,并讨论其相互间的影响关系。

### 1.2 飞行不安全行为的内部影响因素分析

飞行不安全行为的内部影响因素以人为载体。机务维修人员负责飞行设备的检修、维护,确

保其功能的正常运行;飞行员操控飞行设备,保证设备安全使用、成功起飞降落<sup>[21]</sup>;空乘人员负责服务乘客和维持安保,避免客舱内对飞行的影响……任何一方的错误都可能造成飞行事故。本研究将飞行不安全行为的内部影响因素又分为心理因素、生理因素和能力因素。

研究表明,飞行员缺乏良好的心理素质,遇突发情况急躁紧张,造成操作不当,这是造成飞行事故的最大原因<sup>[22]</sup>。生理因素方面,由于职业的特殊性,飞行员和机务维修人员等很难拥有规律的作息,容易出现睡眠质量差、疲劳、饮食不规律、疾病等情况,这些极有可能造成飞行不安全。能力因素包括技能、知识水平的掌握情况和熟练程度,还包括岗位职责的匹配程度。如果飞行员没有能力在危急情况下正确操控飞机,维修人员无法识别出存在的设备障碍,飞行安全都难以保障。

### 1.3 飞行不安全行为的外部影响因素分析

飞行不安全行为的外部影响因素分为组织因素、管理因素和环境因素。

组织因素中,组织机构设置不合理,不利于发现和监察安全问题;安全管理因素也至关重要<sup>[23]</sup>,如果操作流程制定不完善、缺乏监管技能、奖惩制度不明确等会对监督行为、计划实施、员工积极性产生影响;同时,环境因素中鸟类袭击也会对民航飞行安全造成严重影响<sup>[24]</sup>。

### 1.4 飞行不安全行为的内外影响因素关系分析

内部因素中,各因素相互影响。例如心理因素往往影响能力发挥,紧急情况下,没有良好的心理素质,可能造成知识失效、专业判断失误,进一步造成飞行不安全。

外部因素中的相互影响表现在松散的组织因素中缺乏严格的监察标准,导致安全氛围不浓,管理不够有效,威胁飞行安全。

内部因素与外部因素之间也有一定的关联性。如果组织中没有详细的聘用标准,员工可能缺乏工作胜任能力;长期工作造成的职业倦怠可能使员工漠视安全方面的流程和标准,造成飞行的不安全。

根据上述分析,建立不安全管理行为影响因素与不安全作业行为影响因素的关系概念模型,如图1所示。

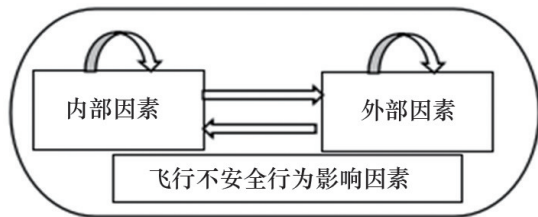


图1 不安全行为影响因素间关系的概念模型

## 2 不安全行为关系影响因素网络模型建立

基于图1概念模型,在相关人员的配合帮助下获得不安全行为影响因素的合集,依据获得的关系数据建立网络模型。

### 2.1 不安全行为要素识别与数据获取

基于对飞行不安全行为影响因素的认知调查及国内外相关法律规章及文献整理归纳,筛选汇总得到多种不安全行为影响因素,将其作为原始依据。通过联系民航行业内从事与安全管理相关的工作人员及民航安全管理领域专家,将提名法和滚雪球技术相结合进行调研。调查涉及的专家24位,既包括民航安全管理、飞行部、客舱与地面服务部的相关工作及管理人员(17位),也包括安全管理领域的专家(7位);既包括男性,也包括女性;年龄分布在30~50岁之间,工作年限均在5年以上。滚雪球法要求被调查者有与调查主题相关的工作和研究经验,最初受邀参与调研的专家和工作人员开始调研后,请他提名另一位具备相关丰富知识和经验的资深人员进行问卷填写,以此类推,随后对访谈结果进行整理归纳<sup>[25]</sup>。

对原始依据清单中民航飞行不安全影响因素的重要性打分(根据李克特五分量表法),最后对调研结果进行整理归纳和调整,平均分高于3分的不安全行为影响因素予以保留,得到27种不安全行为,如表1所示。

表1 不安全行为影响因素集

内部因素	心理因素	员工性格 $C_1$ 、安全意识 $C_2$ 、风险倾向 $C_3$ 、职业倦怠 $C_4$ 、压力 $C_5$ 、人事关系 $C_6$ 、家庭经济问题 $C_7$
	生理因素	疲劳 $C_8$ 、工作负荷 $C_9$ 、作息制度 $C_{10}$
	能力因素	与岗位职责的匹配程度 $C_{11}$ 、业务技能熟练程度 $C_{12}$ 、知识水平 $C_{13}$
外部因素	组织因素	安全监察 $C_{14}$ 、计划制定 $C_{15}$ 、沟通交流 $C_{16}$ 、规程标准 $C_{17}$ 、组织结构 $C_{18}$ 、教育培训 $C_{19}$
	管理因素	绩效考核 $C_{20}$ 、安全氛围 $C_{21}$ 、奖惩制度 $C_{22}$ 、职工权益 $C_{23}$
	环境因素	设备更新与维护 $C_{24}$ 、恶劣天气 $C_{25}$ 、鸟害 $C_{26}$ 、安全防护 $C_{27}$

### 2.2 关系模型建立

利用社会网络分析软件Ucinet对取得的调查数据进行一致性分析(表2),计算矩阵的特征值,结果显示,最大特征值与第2大特征值之比为23.284,远远大于3,表明被调查者存在单一的回答模式,即调查结果的被采访者对于造成民航飞行不安全影响因素的认识具有一致性。

根据调查数据,得出了关于27种不安全行为的关系矩阵,利用Ucinet中的Net Draw功能建立不安全行为影响因素关系网络模型(图2)。该网络

表2 一致性分析结果

答题能力弱数:	0
最大特征值:	16.805
第二大特征值:	0.722
特征值之比:	23.284

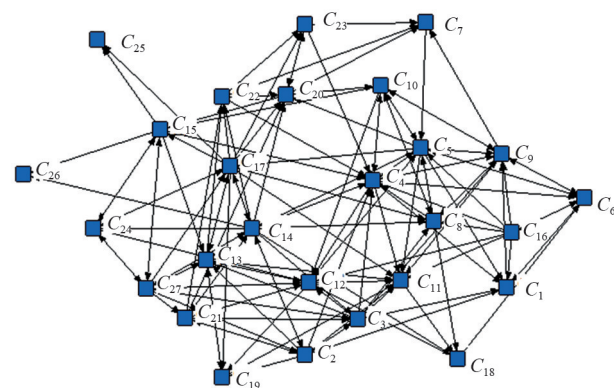


图2 网络模型

模型包含了27个节点,每个节点对应着影响民航飞行安全的因素见表1,节点间的箭头表示影响关系间的指向。

### 3 不安全行为影响因素关系网络模型分析

#### 3.1 中心度分析

社会网络分析(social network analysis)基于中心度给出多种衡量节点权力大小的指标,包括度数中心度、接近中心度和中间中心度。

##### 3.1.1 度数中心度

度数中心度反映节点关系的集中程度,数值越大,代表的民航飞行不安全影响因素在网络中越居于主导地位。有向图中度数中心度分为点入度与点出度,根据度数中心度的公式,

$$\text{点入度: } C_D(n_i) = \frac{\sum_1^i dI(n_i)}{v_{i\max}(N-1)} \quad (1)$$

$$\text{点出度: } C_D(n_i) = \frac{\sum_1^i do(n_i)}{v_{i\max}(N-1)} \quad (2)$$

其中, $n$ 为网络规模, $v_{i\max}$ 为有向图中已存在的弧的权重值, $dI(n_i)$ 为 $i$ 的点入度值, $do(n_i)$ 为点 $i$ 的点出度值。

度数中心度指数见表3。 $C_{14}$ 的点出度最高,表

表3 度数中心度

节点	点出度	点入度	节点	点出度	点入度
$C_1$	3.000	19.000	$C_{15}$	14.000	15.000
$C_2$	24.000	13.000	$C_{16}$	25.000	1.000
$C_3$	23.000	14.000	$C_{17}$	30.000	14.000
$C_4$	20.000	32.000	$C_{18}$	4.000	7.000
$C_5$	27.000	21.000	$C_{19}$	7.000	14.000
$C_6$	11.000	15.000	$C_{20}$	11.000	18.000
$C_7$	2.000	16.000	$C_{21}$	20.000	10.000
$C_8$	17.000	18.000	$C_{22}$	15.000	11.000
$C_9$	22.000	26.000	$C_{23}$	9.000	8.000
$C_{10}$	20.000	15.000	$C_{24}$	13.000	9.000
$C_{11}$	10.000	34.000	$C_{25}$	0.000	4.000
$C_{12}$	14.000	30.000	$C_{26}$	0.000	6.000
$C_{13}$	14.000	25.000	$C_{27}$	29.000	10.000
$C_{14}$	38.000	17.000			

明其处于网络的权力中心且拥有最强的直接影响力; $C_{11}$ 的点入度最高,表明其在网络中所处的位置最容易受其他节点的影响。点入度和点出度大的值越大,该节点在网络中越处于关键位置。观察点入度和点出度较大的节点可以发现,关键不安全行为既包括内部影响因素子集 $C_4$ 、 $C_{11}$ 、 $C_{12}$ ,也包括不安全行为外部影响因子集合的子集 $C_{14}$ 、 $C_{17}$ 、 $C_{27}$ 。

##### 3.1.2 接近中心度

接近中心度反映网络整体在受控制程度上的表现,占据中心地位的节点在与其他节点互相影响时更有效率,根据公式

$$C_c = (n-1) \left[ \sum_{j=1}^n d(n_i, n_j) \right]^{-1} \quad (3)$$

其中 $d(n_i, n_j)$ 表示点 $i$ 和点 $j$ 间的捷径数目。

接近中心度指数见表4。由表4可知, $C_{25}$ 、 $C_{11}$ 、 $C_{12}$ 具有最大的点入接近中心度27.957%,较大的点入接近中心度说明网络中其他节点到代表以上行为节点的距离之和很短,这些影响因素更容易受到网络中其他不安全行为影响因素的影响和控制。

$C_{14}$ 具有最大的点出接近中心度63.415%,较大的点出接近中心度说明这些节点到网络中其他点的距离之和都很短,即这些影响因素更容易独立地影响其他不安全行为影响因素。

表4 接近中心度

节点	点入接近中心度	点出接近中心度	节点	点入接近中心度	点出接近中心度
$C_1$	25.243	33.766	$C_{15}$	24.074	50.000
$C_2$	21.667	53.061	$C_{16}$	20.635	48.148
$C_3$	21.667	50.000	$C_{17}$	25.490	57.778
$C_4$	27.660	48.148	$C_{18}$	24.299	34.211
$C_5$	27.083	61.905	$C_{19}$	24.299	32.911
$C_6$	25.243	42.623	$C_{20}$	25.490	42.623
$C_7$	24.528	39.394	$C_{21}$	21.488	52.000
$C_8$	25.000	44.068	$C_{22}$	23.423	40.000
$C_9$	26.263	47.273	$C_{23}$	22.414	38.235
$C_{10}$	25.000	50.000	$C_{24}$	22.807	46.429
$C_{11}$	27.957	36.111	$C_{25}$	27.957	3.704
$C_{12}$	27.957	43.333	$C_{26}$	27.660	3.704
$C_{13}$	26.000	43.333	$C_{27}$	22.034	54.167
$C_{14}$	25.000	63.415			

### 3.1.3 中间中心度

中间中心度可由公式(4)计算,

$$C_B = \frac{\sum_{j < k} g_{jk}(n_i) / g_{jk}}{[(N-1)(N-2)]} \quad (4)$$

其中,  $g_{jk}(n_i)$  为点  $j$  与点  $k$  经过  $i$  的捷径数,  $g_{jk}$  为点  $j$  与点  $k$  间的捷径总数, 得出中间中心度见表 5。

中间中心度代表某节点对网络中资源控制的程度, 从表 5 数据可以看出,  $C_5$  中间中心度最高, 其在整个网络中占据着控制资源和信息流通的关键位置。而  $C_{19}$ 、 $C_{25}$ 、 $C_{26}$  中间中心度为 0, 这样的中间中心度指数说明, 这些节点在关系网络中不具有向其他不安全行为影响因素传递信息的“中介”作用, 即在此关系网络中位于边缘位置。

表 5 中间中心度

节点	中间中心度	节点	中间中心度
$C_1$	3.014	$C_{15}$	45.585
$C_2$	10.881	$C_{16}$	3.694
$C_3$	10.204	$C_{17}$	80.581
$C_4$	57.837	$C_{18}$	9.856
$C_5$	154.362	$C_{19}$	0.000
$C_6$	42.700	$C_{20}$	30.614
$C_7$	7.227	$C_{21}$	3.085
$C_8$	13.358	$C_{22}$	19.830
$C_9$	36.076	$C_{23}$	2.294
$C_{10}$	25.861	$C_{24}$	3.712
$C_{11}$	27.282	$C_{25}$	0.000
$C_{12}$	43.865	$C_{26}$	0.000
$C_{13}$	53.850	$C_{27}$	18.650
$C_{14}$	99.583		

### 3.2 整体网络结构分析

采用整体网络密度指标和中心势指标衡量网络结构。

网络密度体现了网络中各节点之间的紧密程度, 其大小与各节点之间的影响程度成正比。整体网络密度( $\Delta$ )公式如下:

$$\Delta = \frac{\sum_{i=1}^g v_i}{g(g-1)} \quad (5)$$

其中  $g$  为节点数。

计算得知, 该模型网络密度为 60.11%, 密度标

准差为 1.2565, 表明网络中不安全行为影响因素间联系比较紧密, 存在较强影响关系, 因此, 网络中个别不安全行为影响因素发生后, 容易引起网络中其他不安全行为影响因素的发生。

网络中心势指标的计算式为

$$\text{相对度中心势: } C'_D = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{D_{\max}} - D_{Di})}{N-2} \quad (6)$$

其中,  $C_{D_{\max}}$  为相对中心度的最大值,  $D_{Di}$  为点  $i$  的相对度数中心度。

$$\text{接近中心势: } C'_C = \frac{\sum_{i=1}^n C'_{C_{\max}} - C'_{Ci}}{(N-1)(N-2)} (2N-3) \quad (7)$$

其中,  $C'_{C_{\max}}$  为相对接近中心度的最大值,  $C'_{Ci}$  为点  $i$  的相对接近中心度。

$$\text{中间中心势: } C'_B = \frac{\sum_{i=1}^n C_{B_{\max}} - C_{Bi}}{N-1} \quad (8)$$

其中,  $C_{B_{\max}}$  为相对中间中心度的最大值,  $C_{Bi}$  为点  $i$  的相对中间中心度。

16.86% 的度数中心势表明, 该关系网络中存在核心点能够对其他某些节点产生联系; 由于网络连通存在无限距离, 因此无法计算接近中心势, 这在一定程度上说明, 民航飞行不安全行为影响因素网络不是完全连通的, 即网络中存在孤立的节点; 中间中心势为 19.90%, 表明网络中存在着控制网络中的资源并起到中介的传递作用的点。

### 3.3 网络结构洞与中间人分析

由于核心区域和边缘区域的显著差异, 连接处有“结构洞”的存在。

结构洞位于网络中 2 个实体的直接联结处, 起到关键的连接作用, 它比网络中其他成员更具有竞争优势, 能帮中间人获取信息和控制利益。信息传递过程中, 处于结构洞位置的实体能够接触到 2 种不同信息, 通过对不同信息的传递和描述控制群体。限制度、有效规模和效率度是衡量结构洞的 3 个指标。计算这 3 种指标的公式如下:

$$\text{限制度: } C_i = \sum_j \left( P_{ij} + \sum_{q \neq i, q \neq j} P_{ij} P_{iq} \right)^2, \quad (q \neq i, q \neq j) \quad (9)$$

其中,  $P_{ij}$  表示节点  $i$  在节点  $j$  上的投入占其他所有节点的比例。

$$\text{有效规模: } E = \sum_j (1 - \sum_q P_{iq} M_{qj}) \quad (10)$$

其中,  $j$  表示与  $i$  相连的所有其他节点,  $q$  为  $i$  和  $j$  的冗余连接数。

$$\text{效率度: } E_i = E/S_i \quad (11)$$

其中  $S_i$  表示节点  $i$  的个体网络的实际规模。

本研究网络结构洞系数如表 6。其中,  $C_4$  位于网络图的结构洞位置程度最大, 接着是  $C_5$ 、 $C_{12}$ 、 $C_{14}$ 、

$C_{17}$ , 在效率系数比较中, 具有较大有效规模的节点同时也具有较高的效率系数、较低的限制度系数。实际上, 该结果与中心度结果相比较而言具有一致性,  $C_4$ 、 $C_{12}$ 、 $C_{14}$  在网络中的确占有重要位置。如此明显结构洞的结构表明, 处于重要结构洞位置的关键影响因素需在日常安全监察中得到足够的重视。

表6 不安全行为影响因素结构洞系数

节点	有效规模	效率度	限制度	节点	有效规模	效率度	限制度
$C_1$	4.286	0.612	0.479	$C_{15}$	7.407	0.823	0.355
$C_2$	6.378	0.709	0.394	$C_{16}$	4.840	0.605	0.455
$C_3$	8.126	0.739	0.324	$C_{17}$	10.395	0.800	0.278
$C_4$	11.427	0.762	0.244	$C_{18}$	4.091	0.818	0.607
$C_5$	9.307	0.716	0.301	$C_{19}$	2.436	0.487	0.733
$C_6$	3.629	0.605	0.571	$C_{20}$	6.807	0.756	0.368
$C_7$	3.484	0.697	0.572	$C_{21}$	4.393	0.628	0.517
$C_8$	5.993	0.666	0.423	$C_{22}$	5.838	0.730	0.419
$C_9$	6.690	0.669	0.357	$C_{23}$	3.000	0.600	0.628
$C_{10}$	4.457	0.637	0.490	$C_{24}$	3.235	0.647	0.631
$C_{11}$	7.973	0.725	0.335	$C_{25}$	1.000	0.500	1.280
$C_{12}$	9.133	0.703	0.305	$C_{26}$	2.000	1.000	0.500
$C_{13}$	6.480	0.720	0.397	$C_{27}$	6.064	0.674	0.382
$C_{14}$	10.057	0.774	0.269				

### 3.4 核心-边缘结构分析

核心-边缘结构是网络结构的特点之一, 根据 Anderson<sup>[26]</sup> 的研究, 位于核心区域的影响因素在造成民航飞行不安全时比非核心区域因素更具有领导作用。利用 Ucinet 进行核心-边缘结构分析, 进一步说明民航飞行不安全行为影响因素在网络中的位置特征, 得到核心-边缘结构分析结果, 如表 7。结果表明, 对于核心-边缘结构的分析与前文中心性分析结果较为一致。处于核心位置的影响因素如  $C_2$ 、 $C_3$ 、 $C_4$  等, 处于边缘位置的影响因素如  $C_1$ 、 $C_6$ 、 $C_7$  等。其中, 核心区域的网络密度为 1.265, 边缘区域的网络密度为 0.338。通过比较发现, 核心区域的网络密度大于整体网络密度 0.6011, 远大于边缘区域网络密度, 这与  $C_4$ 、 $C_{12}$ 、 $C_{14}$  等不安全行为关键影响因素处于核心位置有关。同理, 非关键影响因素处于边缘位置使得边缘区域的网络密度

降低。因此, 在民航飞行的日常监管活动中, 应密切关注处于核心区域处的影响因素动态, 以便做好防控措施。

表7 核心-边缘结构分析结果

核心	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_8$	$C_9$	$C_{10}$	$C_{11}$	$C_{12}$	$C_{13}$	$C_{14}$	$C_{17}$			
边缘	$C_1$	$C_6$	$C_7$	$C_{15}$	$C_{16}$	$C_{18}$	$C_{19}$	$C_{20}$	$C_{21}$	$C_{22}$	$C_{23}$	$C_{24}$	$C_{25}$	$C_{26}$	$C_{27}$

### 3.5 影响力分析

影响力分析同时考虑了不安全行为影响因素关系网络中的直接和间接影响。为了解决中心度影响因素考虑不全面的问题, 引入影响力分析。胡贝尔(Hubbell)的影响力指数、卡兹(Katz)的影响力指数、泰勒(Taylor)的影响力指数是分析影响力的 3 种方法, 本文采用胡贝尔影响力指数计算。公式如下:

$$Hubbell = e \left[ (I - aC)^{-1} \right] \quad (12)$$

其中  $e'$  是元素全为 1 的列向量转置矩阵,  $a$  代表影响力传到的非衰减度,  $C'$  为整体网络邻接矩阵转置。

通过软件中影响力分析路径得到影响力排名结果(表 8)。经计算得出影响力综合排名及影响

表 8 不安全行为影响因素影响力排名

节点	行总数	列总数	节点	行总数	列总数
$C_1$	1.007	1.046	$C_{15}$	1.034	1.036
$C_2$	1.059	1.031	$C_{16}$	1.061	1.002
$C_3$	1.056	1.034	$C_{17}$	1.073	1.034
$C_4$	1.049	1.078	$C_{18}$	1.010	1.017
$C_5$	1.066	1.052	$C_{19}$	1.017	1.035
$C_6$	1.027	1.037	$C_{20}$	1.027	1.044
$C_7$	1.005	1.039	$C_{21}$	1.050	1.024
$C_8$	1.042	1.044	$C_{22}$	1.036	1.027
$C_9$	1.054	1.064	$C_{23}$	1.022	1.019
$C_{10}$	1.049	1.037	$C_{24}$	1.032	1.022
$C_{11}$	1.024	1.084	$C_{25}$	1.000	1.010
$C_{12}$	1.041	1.081	$C_{26}$	1.000	1.015
$C_{13}$	1.034	1.062	$C_{27}$	1.072	1.024
$C_{14}$	1.093	1.041			

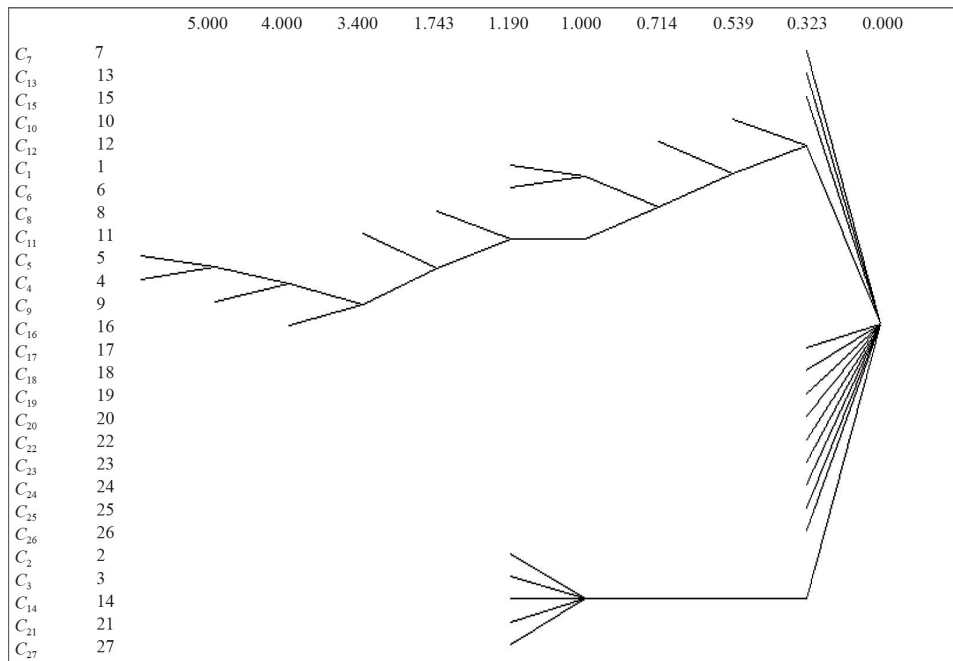
关系矩阵,其中影响力排名前 5 的节点为  $C_{14}$ 、 $C_{17}$ 、 $C_{27}$ 、 $C_5$ 、 $C_{16}$ 。安全事故并非由极个别关键的不安全行为导致,一系列不安全行为影响因素的连锁反应是产生的根本原因。影响关系矩阵表明,影响不安全行为的内外因素间均有影响关系,如  $C_6$ 、 $C_9$  对  $C_1$ 、 $C_{29}$ 、 $C_{21}$  对  $C_{14}$ ,同时,内部因素和外部因素内部也有影响关系,如  $C_{19}$  对  $C_2$ 、 $C_{21}$  对  $C_2$ 。

### 3.6 聚类分析利用

为了表明民航不安全行为影响因素在网络中的整体分布情况,揭示各节点的关联性,利用 Ucinet 对不安全行为影响因素关系矩阵进行凝聚子群分析,当子群最小规模设定为 5 时,存在 6 个派系的“共享成员”矩阵,将其进行等级聚类分析,可得到以下的派系表(表 9)、聚类图(图 3)。

表 9 不安全行为影响因素派系

1:	$C_1$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_9$	$C_{16}$
2:	$C_4$	$C_5$	$C_8$	$C_9$	$C_{16}$	
3:	$C_4$	$C_5$	$C_9$	$C_{11}$	$C_{16}$	
4:	$C_4$	$C_5$	$C_8$	$C_9$	$C_{10}$	
5:	$C_4$	$C_5$	$C_{11}$	$C_{12}$	$C_{16}$	
6:	$C_2$	$C_3$	$C_{14}$	$C_{21}$	$C_{27}$	



横坐标代表聚类组重新缩放的距离,纵坐标第 1 列代表分类元素,第 2 列是各元素对应的序号

图 3 聚类图

由派系表可知,  $C_4$  和  $C_5$  共享 5 个派系,  $C_4$  和  $C_{16}$  共享 4 个派系, 共享派系的存在说明 6 个派系成员之间存在重叠, 重叠部分类似桥节点, 在各个子群之间充当纽带, 使网络结构更具凝聚力。如果没有这些桥节点的存在, 子群将成为独立的子网络, 彼此间不能联通。可以得到启发, 若在安全管理实践中针对位于共享派系中不安全行为影响因素进行严格把控, 可降低网络的连通性, 提高网络的安全性, 达到有效避免安全事故的作用。

汇总派系表中各派系间重复的不安全行为影响因素, 得到共享成员矩阵, 如式(13)所示。共享成员矩阵表显示了 6 个派系共同拥有的不安全行为影响因素数目, 对角线上的值表示每个派系拥有的成员个数, 第  $i$  行第  $j$  列的数值表示两个派系共享的不安全行为影响因素的个数, 如第 1 行、第 2 列的数字 4 表明 1 派和 2 派共享 4 个成员。

$$A = \begin{pmatrix} 6 & 4 & 4 & 3 & 3 & 0 \\ 4 & 5 & 4 & 4 & 3 & 0 \\ 4 & 4 & 5 & 3 & 4 & 0 \\ 3 & 4 & 3 & 5 & 2 & 0 \\ 3 & 3 & 4 & 2 & 5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 5 \end{pmatrix} \quad (13)$$

共享成员与派系关系的亲密程度呈正相关, 共享成员的数目越多, 相关派系的关系越紧密, 可以进一步联结成更大的不安全行为群。属于一个派系的不安全行为影响因素成员与外界成员相比关系更加紧密, 因此, 这些不安全行为影响因素构成的小群体的集合更容易导致安全事故。在这个集合中, 即使某两个行为之间的关联被切断, 也不影响其他不安全行为的发生, 因此这种集合十分容易导致安全事故。如果对这些群体采取针对性地管理和预防措施, 有利于降低安全事故的发生, 进而提高民航安全管理水平。

## 4 结论

1) 不安全行为影响因素关系网络具有比较高的风险性。处于权力中心的关键影响因素  $C_4$  职业倦怠、 $C_{14}$  安全监察、 $C_{12}$  业务技能熟练程度, 在整个网络中扮演着至关重要的角色, 在民航飞行安全日

常管理中应该得到足够的重视。处于独立发挥影响作用位置的关键影响行为  $C_5$  压力在整个网络中处于控制资源和信息流通的关键位置, 平时应注意员工情绪变化, 防止其进一步恶化危及民航安全。

2) 存在关键不安全行为影响因素内部因素的影响。例如, 内部因素中工作负荷  $C_6$  导致职业倦怠  $C_4$ , 进一步加大造成民航飞行不安全行为的可能。降低民航飞行事故的可能性不仅要重点管理具有较高影响力的关键不安全行为影响因素, 更要有针对性地切断存在的连锁反应链, 即消除由多个不安全行为影响因素构成的传播路径, 降低安全事故的发生率。

3) 存在不安全行为影响因素反应链网络, 即影响因素分类间互相的影响。例如, 内部因素中的知识水平  $C_{13}$  高低会影响外部因素规程标准  $C_{17}$ , 如果知识水平较低导致规程标准不够严格, 会进一步导致民航飞行不安全。此类行为构成反映网络链, 应严格把控此类不安全行为影响因素, 降低网络密度, 可增强网络安全性, 提高民航飞行的安全指数。

本研究利用社会网络分析方法对民航飞行不安全行为影响因素进行了定量分析, 模型量化研究为民航飞行安全管理的研究提供了新的思路与方法。但由于受时间、空间、资源的限制, 本文的研究基于小样本, 研究结果的普遍性和典型性无法确定。因此, 接下来的研究应进一步扩充调查对象及范围, 提高研究成果的说服力和适用性。另外, 社会网络分析关注不安全行为影响因素间的关系, 但民航飞行具有系统性, 不安全行为影响因素多种多样, 下一步可以对影响因素进行更加全面细致的划分, 在此基础上针对影响民航安全的因素进行更深的研究。

## 参考文献 (References)

- [1] 中国民用航空局. 民航机场生产统计公报[Z]. 中国民用航空局, 2006-2015.
- [2] 张翔. 我国航空经济发展现状与前景[J]. 现代经济信息, 2019(5): 396.
- [3] 鲍梦瑶. 国际民航组织适航标准与中国民航适航规章的

- 关联[J]. 科技导报, 2019, 37(5): 17-24.
- [4] 崔振新, 赵庆涛. 民航旅客客舱不安全行为机理研究[J]. 中国民航大学学报, 2018, 36(2): 45-49.
- [5] 郭鹏. 利用REASON模型浅析航空不安全事件[J]. 民航管理, 2019(4): 85-87.
- [6] Oliver N, Calvard T, Kristina P. Safe limits, mindful organizing and loss of control in commercial aviation[J]. *Safety Science*, 2019, 120: 772-780.
- [7] 孙瑞山, 赵宁, 李敬强. 民航飞行员人格特质与行为安全的理论分析[J]. 人类工效学, 2015, 21(3): 50-54.
- [8] 曾佩佩, 杨洁. 民航机务人员个体特征因素对安全行为的影响[J]. 中国民航大学学报, 2016, 34(4): 36-40.
- [9] 凡勇, 陈毓夔. 飞机维修中人的不安全行为[J]. 中国民用航空, 2014(3): 56-57.
- [10] 陈芳, 范丹红, 刘凯凯. 民航机务维修人员不安全行为干预策略研究[J]. 中国安全科学学报, 2016, 26(7): 18-22.
- [11] Jin E Z. Network analysis of 'In-flight safety' using big data[J]. *International Journal of Tourism Management and Sciences*, 2019, 34(3): 263-279.
- [12] 万健, 夏正洪, 王剑辉, 等. 基于QAR超限事件的民航飞行安全风险评价方法[J]. 科技导报, 2019, 11: 101-108.
- [13] 罗帆, 杨智. 交通流量增长下的空中管制安全风险预警及阈值确定[J]. 科技导报, 2012, 30(4): 61-66.
- [14] McDonald N, Callari T C, Baranzini D, et al. A Mindful Governance model for ultra-safe organisations[J]. *Safety Science*, 2019, 120: 753-763.
- [15] Causse M, Chua Z K, Rémy F. Influences of age, mental workload, and flight experience on cognitive performance and prefrontal activity in private pilots: a fNIRS study[J]. *Scientific Reports*, 2019, 9(1): 2045-2322.
- [16] Kelly D, Marina E. An analysis of human factors in fifty controlled flight into terrain aviation accidents from 2007 to 2017[J]. *Journal of Safety Research*, 2019, 69: 155-165.
- [17] 张攀科, 罗帆. 通用航空安全监管演化博弈的系统动力学仿真[J]. 中国安全科学学报, 2019, 29(4): 43-50.
- [18] Ni X M, Wang H W, Che C C, et al. Civil aviation safety evaluation based on deep belief network and principal component analysis[J]. *Safety Science*, 2019, 112: 90-95.
- [19] 韩静茹. 以风险管理为导向的航空安全信息管理探讨[J]. 民航学报, 2018, 2(5): 50-53.
- [20] Collins J W, Wisz P. Training in robotic surgery, replicating the airline industry. How far have we come[J]. *World Journal of Urology*, 2019, doi:10.1007/s00345-019-02976-4.
- [21] 侣庆民, 王延霞, 李学伟, 等. 国家通用航空业发展安全保障体系建设研究[J]. 中国民航飞行学院学报, 2019, 30(5): 10-14.
- [22] Rao A H, Marais K. A state-based approach to modeling general aviation accidents[J]. *Reliability Engineering & System Safety*, 2020, 193: 106670.
- [23] Darr S, Ricks W, Lemos K A. Safer systems: A next generation safety strategic goal[J]. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 2010, 25(6): 9-14.
- [24] Van G, Krijgsveld K L, Klauke N, et al. Aeroecology meets aviation safety: Early warning systems in Europe and the Middle East prevent collisions between birds and aircraft[J]. *Ecography*, 2019, 42(5): 899-911.
- [25] 李书全, 冯雅清, 胡松鹤, 等. 基于社会网络的建筑施工不安全行为关系研究[J]. 中国安全科学学报, 2017, 27(6): 7-12.
- [26] Anderson C. Characterizing the structure of operating room staffing using social network analysis[J]. *Nursing Research*, 2011, 60(6): 378-385.

## On the relationship among various influence factors of unsafe civil aviation flight behavior based on social network analysis

WANG Wenke, ZHANG Yan, ZHAO Yuanyi, LIU Xinyue

Business School, Sichuan Normal University, Chengdu 610101, China

**Abstract** To enhance the management of civil aviation flight safety, a set of factors influencing unsafe behavior is determined through literature analysis and stakeholder survey. Then a network model of relationship among these factors is built by applying social network analysis. Its node attributes, core-edge analysis, structural feature, influence and hierarchical clustering are investigated. The result shows that the key unsafe behavior influencing factor nodes can form a reaction chain, which can in turn connect with others into a high-risk behavior network. Among them, the key unsafe behavior influence factors include job burnout, safety supervision, and business skills proficiency. There is a chain of behavioral reactions, including "the level of knowledge is low-procedures are not strict-civil aviation flight is unsafe", etc. Some kinds of behavior such as job burnout, stress, etc. can serve as bridge nodes in the network of factors influencing unsafe behavior.

**Keywords** civil aviation flight; safety management; unsafe behavior influence factor; social network analysis(SNA); hierarchical clustering ●



(责任编辑 王志敏)