

【航空管理与安全】

基于云模型的航空公司安全管理体系成熟度评价

谢晓芳, 郭晓茹

(郑州航空工业管理学院 民航学院, 河南 郑州 450046)

摘要:安全是民航发展的基础, 建立健全的安全管理体系已成为全球民航发展中的重要环节。为全面系统地分析和评价航空公司安全管理体系的成熟度, 基于安全政策和目标、安全风险、安全保证和安全促进四大支柱, 构建了适用于航空公司的安全管理体系成熟度评价指标体系; 确定了初始级、成长级、成熟级、优秀级和卓越级 5 个成熟度评价等级, 并结合 G1 法与熵值法确定各指标权重, 构建了基于云模型的航空公司安全管理体系成熟度评价模型。以某航空公司为研究对象, 依据该模型评价其安全管理体系的成熟度水平, 结果表明, 该航空公司的安全管理体系成熟度为“优秀级”。这与实际情况基本一致, 从而验证了该评价模型的有效性, 有助于航空公司实现持续安全发展。

关键词:安全管理体系; 成熟度; 航空公司; 指标权重; 云模型; 综合评价

中图分类号: X 92 **文献标识码:** A **DOI:** 10.13486/j.issn.2097-4973.2024.03.003

0 引言

航空运输作为交通运输系统的重要组成部分, 在运输活动中发挥着关键作用。中国民用航空局发布的数据显示, 2024 年上半年, 民航旅客运输量约为 3.5 亿人次, 比 2019 年增长 9.0%, 其中国内旅客量增长 13.2%、国际旅客恢复至 81.9%; 比 2023 年增长 23.5%, 其中国内旅客量增长 16.4%、国际旅客增长 254.4%^[1]。数据显示, 中国民航运输市场正逐步复苏并展现出强劲的增长势头, 随之而来的安全压力进一步增大, 确保航空安全已成为航空公司及相关管理部门的首要任务, 实现这一目标依赖于民航安全管理体系。民航安全管理体系 (Safety Management System, SMS) 作为一种有效可行的航空安全管理机制, 现已从单一因素转向系统整体分析, 形成了以系统科学和工程理论为核心的综合性安全管理模式^[2]。当前, 中国民航在 SMS 研究建设方面正逐步向更加成熟的方向发展, 中国民航业本土化的 SMS 目标正在逐步得以实现^[2]。科学系统地评价航空公司的 SMS, 掌握其成熟度水平, 对提升航空公司的安全管理水平和促进体系持续改进至关重要。

国内外对于航空公司安全管理评价的研究主要集中在两个方面。在评价指标体系建立方面, 学者从飞机坠毁定量动力学随机分布^[3]、制度化、能力和有效性^[4]、航空安全管理^[5]、人-物-法-管-程-果^[6]等不同角度建立了航空公司 SMS 有效性评价指标体系, 显示出不同的研究方向, 也突出了人为因素在安全管理中的重要性; 申延^[7]以行业 SMS 标准为基础, 运用企业诊断工具为航空公司制定了一套 SMS 有效性提升

收稿日期: 2024-09-12

基金项目: 河南省高等学校重点科研项目 (24A62005); 河南省重点研发专项项目 (241111242200)

第一作者简介: 谢晓芳 (1975—), 女, 河南伊川人, 教授, 硕士, 硕士生导师, 主要从事技术创新与管理、航空服务与创新研究。E-mail: kaiselin@126.com

策略和方案,其研究更加侧重于实践应用,力求通过标准化手段实现系统性改进;陈阳怡^[8]将 SMS 与安全效益结合,从安全政策与目标、安全风险、安全保证、安全促进和安全效益五个维度对航空公司运行控制安全绩效进行评价,其研究不仅关注体系内部的有效性,还强调了安全效益对实际安全绩效的直接影响。在评价方法选择方面,Zhao 等^[9]建立了一个评估航空承运人危险品运输安全绩效的多因素系统,并采用层次分析法与熵权法的组合方法来量化各因素的重要性,这种方法综合了不同指标,减少了单一评估方法的偏差;Yang^[10]则构建了民航机场安检信息系统的的海态势评估指标,并使用 G1 法确定权重,简化了权重分配并避免了层次分析法中的一致性检验问题;张智华^[11]基于卓越绩效准则,建立了民航机场安全绩效评价指标体系,引入云理论构建了基于正态云模型的机场安全绩效综合评价模型,发现云理论在处理不确定性和模糊性方面表现出色,能够提供较为直观的评价结果;张迪^[12]结合民航空管服务特点,将云模型与物元可拓理论相结合,建立了空管单位质量安全绩效评价模型,这种创新性的结合方法提升了评价的全面性和灵活性,但对数据质量要求较高。

综上所述,现有研究主要关注航空公司 SMS 实施有效性和基于 SMS 的安全绩效评价,但缺乏宏观分析和航空公司 SMS 发展态势的评价。为此,本文基于安全政策和目标、安全风险、安全保证和安全促进四大支柱,建立了航空公司 SMS 成熟度评价指标体系,设定了初始级、成长级、成熟级、优秀级和卓越级 5 个等级。此外,采用 G1 法和熵值法相结合的组合赋权法,引入云理论构建了基于云模型的评价模型,对某航空公司 SMS 建设情况进行评价并提出针对性建议。

1 航空公司 SMS 成熟度评价指标体系

1.1 指标选择

科学合理的评价指标能够有效地反映航空公司 SMS 的成熟度水平。民航 SMS 由 4 个组成部分构成,分别为安全政策和目标、安全风险、安全保证和安全促进,这 4 个要素通常被称为民航 SMS 的四大支柱,其承载的是一切安全管理工作的来源和出发点,是民用航空企业从事安全管理工作研究的纲领性结构框架^[7]。本文依据中国民用航空局(CAAC)2024 年发布的《航空运营人安全管理体系(SMS)建设要求》^[13],遵循科学性、目的性、完备性、显著性等原则^[14],从 SMS 四大支柱出发,构建了航空公司 SMS 成熟度评价指标体系,包括 4 个一级指标、12 个二级指标和 32 项评价内容,详见表 1。

“安全政策和目标”是建立风险管理的政策环境、组织环境、文件及管理环境^[15]。“安全风险”是通过识别潜在危险源,并制定和执行适当的风险控制措施。“安全保证”是通过持续监测运营和安全管理过程,及时发现和解决运营中的潜在问题。“安全促进”是通过培训教育,营造有利于实现安全目标的组织环境。

1.2 等级划分及评语集确定

国际民航组织(ICAO)在《安全管理手册(SMM)》(第三版)中首次明确提出,SMS 实施应经历从不成熟到完全成熟的发展过程^[16],强调了安全管理的“成熟度”概念。成熟度模型是一种基于系统与过程改进原理的分级改进模式^[17],对于构建和完善航空公司 SMS 具有重要意义。

本文以软件成熟度模型(CMM)为基础,结合航空安全领域已有研究^[16,18-19],将航空公司 SMS 成熟度划分为 5 个等级,并确定了各等级评语集范围。

(1) 初始级:该等级是航空公司 SMS 建设的最低等级,评语集范围设定为(0,60]。SMS 还未经过系统化建立,安全管理过程是无序混乱的;安全管理反应性较强,通常依赖于特别技能的人员来应对问题;缺乏明确的流程和规范,可能存在不稳定性 and 不可预测性。

(2) 成长级:评语集范围设定为(60,70]。航空公司 SMS 的基本安全管理过程已经建立,可以在不同情况下重复执行;存在一定程度的项目管理技术支持,以确保安全目标的实现;尽管过程存在,但管理层对于过程的控制和评价还不够深入。

(3) 成熟级:评语集范围设定为(70,80]。航空公司 SMS 的安全管理过程在整个组织内已经标准化和明确定义;存在详细的过程文档和指南,支持安全管理过程的执行和监控;过程的基本步骤、角色和责任已经明确,但可能需要进一步的量化和数据收集来支持过程的优化。

表1 航空公司 SMS 成熟度评价指标体系

一级指标	二级指标	评价内容
安全政策和目标 A	管理者承诺 A1	制定安全政策 制定安全目标 制定安全工作计划
	安全责任 A2	建立全员安全生产责任制 规定各安全相关组织机构、岗位等的安全责任 建立安全责任监督检查和考核机制
	任命关键安全人员 A3	成立安全委员会 任命安全总监 设置独立的安全管理部门
	应急预案的协调 A4	规定应急预案的制定、应急演练及应急救援的职责、程序等 编制应急预案 制定应急演练计划
	SMS 文件 A5	建立 SMS 文件 记录安全管理活动
安全风险 B	危险源识别 B1	建立安全风险管理制度和工作程序 安全风险管理工作人员的资质和能力 建立并实施多种危险源识别的程序及方法
	安全风险评价与控制 B2	分析出危险源产生的原因或作用机理 建立综合评价安全风险等级标准 评价安全风险等级 制定安全风险控制措施
	安全绩效评估与监测 C1	内部评估 SMS 及风险控制措施的情况 建立和持续监测安全绩效指标体系
安全保证 C	SMS 持续改进 C2	保持或持续改进 SMS 的整体有效性
	变更管理 C3	系统、主动识别新的危险源 对新的危险源进行安全风险评价 将新的安全风险控制在可接受水平
安全促进 D	培训和教育 D1	按照安全相关要求建立安全培训制度 制定安全培训计划 对培训质量和效果进行评估
	安全交流 D2	建立“自下而上”的交流渠道和方法 对安全交流的质量和效果进行评估

(4) 优秀级:评语集范围设定为(80,90]。航空公司 SMS 的安全管理过程已经量化和定量化管理;管理层通过收集数据和分析结果来实时控制和优化安全管理过程,对过程性能有详细的了解,并且能够基于数据做出决策和改进;航空公司开始形成安全管理文化,各级人员主动进行风险管理。

(5) 卓越级:该等级是航空公司 SMS 建设的最高等级,评语集范围设定为(90,100]。航空公司 SMS 已经建立了持续改进的文化;组织能够通过创新和采用新技术来优化安全管理过程;公司具备快速适应变

化的能力,能够在面对新挑战和新需求时灵活调整和改进安全管理策略和方法。

2 基于 G1-熵值法的组合赋权

权重的合理赋值对评价结果至关重要,本文采用组合赋权法,结合了主观赋权和客观赋权的优点,对航空公司 SMS 各指标进行组合赋权。

2.1 G1 法确定主观权重

G1 法是一种改进的层次分析法(AHP),相较于传统 AHP,其具有更快的计算速度和不需要进行一致性检验等优势,并且能有效处理 SMS 要素间复杂关系的问题,具体步骤如下。

第 1 步,专家评价各指标重要性。

第 2 步,根据重要性确定指标间序关系。

第 3 步,确定序关系相邻指标间的重要度。对于任意两个相邻指标 ω_β 和 $\omega_{\beta-1}$,专家赋予的相对重要程度 r_β 可表示为 $r_\beta = \frac{\omega_{\beta-1}}{\omega_\beta}$ 。式中: $\beta=n, n-1, \dots, 2, r_\beta$ 越大则指标 $\omega_{\beta-1}$ 相比 ω_β 重要性程度越大。具体而言,当 $\omega_{\beta-1}$ 与 ω_β 同等重要时, r_β 为 1; 当 $\omega_{\beta-1}$ 与 ω_β 稍显重要时, r_β 为 1.2; 当 $\omega_{\beta-1}$ 与 ω_β 明显重要时, r_β 为 1.4; 当 $\omega_{\beta-1}$ 与 ω_β 非常重要时, r_β 为 1.6; 当 $\omega_{\beta-1}$ 与 ω_β 极其重要时, r_β 为 1.8。各中间情况, r_β 分别为 1.1、1.3、1.5、1.7。

第 4 步,计算各指标主观权重。根据确定的各指标 r_β 值,计算出重要性排在最后的第 n 个指标的权重,其计算公式为 $\omega_n = (1 + \sum_{\beta=2}^n \prod_{j=\beta}^n r_j)^{-1}$ 。根据 $\omega_{\beta-1} = \omega_\beta r_\beta (\beta=n, n-1, \dots, 2)$ 依次计算得到各指标权重。

2.2 熵值法确定客观权重

熵值法是基于信息熵原理,通过计算指标数据的离散程度确定各指标的相对重要性。熵值可减少主观偏差,使数据更客观,具体步骤如下。

第 1 步,构建原始化矩阵。现有 n 个指标,每个指标有 m 个专家进行评价,构成初始化矩阵 $\mathbf{X} = (x_{ij})_{m \times n}$,其中 x_{ij} 表示第 i 个专家对第 j 个指标的评价值。

第 2 步,构建标准矩阵。假设给定 n 个指标分别为 $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$,其中 $X_i = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ 。将指标数据标准化得到标准化矩阵 $\mathbf{Y} = (Y_{ij})_{m \times n}$,计算公式为 $Y_{ij} = \frac{X_{ij} - \min(X_i)}{\max(X_i) - \min(X_i)}$ 。式中: $\min(X_i)$ 、 $\max(X_i)$ 分别为不同专家对同一指标评价的最小值和最大值。

第 3 步,计算各指标熵值。先计算出每个指标的变异大小 P_{ij} ,即第 i 个专家关于第 j 个指标值的比重,计算公式为 $P_{ij} = Y_{ij} / \sum_{i=1}^m Y_{ij}$ 。再求出各指标的信息熵 E_j ,并且该值大于等于 0,计算公式为

$$E_j = -\frac{1}{\ln(n)} \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln P_{ij}。$$

第 4 步,计算各指标客观权重。利用信息熵计算出各指标的客观权重

$$\omega_j = \frac{1 - E_j}{n - \sum_{i=1}^n E_j}。$$

第 5 步,计算组合权重。通过 G1 法和熵值法计算得到各指标组合权重 W_j ,减少 SMS 成熟度评价过程中主观因素的影响。组合赋权公式为

$$W_j = \frac{\omega_i \omega_j}{\sum_{j=1}^n \omega_j \omega_j}。 \tag{1}$$

式中: ω_i 为主观权重, ω_j 为客观权重。

3 基于云模型的航空公司 SMS 成熟度评价模型

云模型是一种通过云发生器实现定性与定量数据转换的不确定性度量模型^[20],能够在航空公司 SMS 成熟度评价中将定性和定量分析结合起来,并通过云图展示结果的模糊性和随机性^[21],以便查看。

3.1 计算标准评价云

根据成熟度等级及其相应取值范围,通过将评语集区间转换为正态云模型,获得反映各等级定性概念的云数字特征 (Ex, En, He) 。 Ex 、 En 和 He 计算满足公式

$$\begin{cases} Ex = \frac{c_{\max} + c_{\min}}{2}, \\ En = \frac{c_{\max} - c_{\min}}{6}, \\ He = K. \end{cases} \quad (2)$$

式中: c_{\max} 、 c_{\min} 分别为指标对应的评语集区间的上、下限; K 为常数,表示评语的不确定性程度,当观测云滴个数为 3 000 时,经多次实验, K 取值 0.1 最符合评价的要求。

3.2 确定航空公司评价云

第 1 步,计算二级指标评价云。将 x_i 设为第 i 个专家对第 j 个指标的评分值, m 为样本数量, \bar{X} 为总的平均值, S^2 为样本方差。引入逆向云发生器,进而计算出二级指标评价云数字特征 (Ex_j, En_j, He_j) ,并满足公式

$$\begin{cases} Ex_j = \bar{X} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_i, \\ En_j = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \times \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m |x_i - \bar{X}|, \\ He_j = \sqrt{S^2 - En_j^2}, \\ S^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (x_i - \bar{X})^2. \end{cases} \quad (3)$$

第 2 步,计算综合评价云。引入云模型运算法则, n 为指标数量,结合各指标组合权重 W_j 和其评价云数字特征 (Ex_j, En_j, He_j) ,即可确定综合评价云数字特征,满足公式

$$\begin{cases} Ex = \sum_{j=1}^n (Ex_j \cdot W_j), \\ En = \sqrt{\sum_{j=1}^n (En_j^2 \cdot W_j)}, \\ He = \sum_{j=1}^n (He_j \cdot W_j). \end{cases} \quad (4)$$

在计算出综合评价云后,通过将其与评价标准云图进行对比,以找到与综合评价云图最相似的标准云图,从而确定航空公司 SMS 的成熟度等级。

4 实例分析

本文以某航空公司为例验证评价模型的有效性。该公司作为我国首批 SMS 试点单位,重视并积极推进 SMS 系统的实施。对其 SMS 成熟度的评价不仅对公司自身发展具有重要意义,还对提升航空行业的安全管理水平及政策优具有重要意义。

4.1 计算指标组合权重

基于构建的航空公司 SMS 评价指标体系,采用李克特五级量表设计调查问卷,邀请 15 位民航安全管

理领域的专家对各级指标的重要性进行评价,统计结果详见表 2。

表 2 航空公司 SMS 各指标重要性评分统计

二级指标	样本量	最小值	最大值	平均值	标准差	二级指标	样本量	最小值	最大值	平均值	标准差
A1	15	2	5	4.20	0.941	B2	15	4	5	4.67	0.488
A2	15	3	5	4.67	0.617	C1	15	4	5	4.67	0.488
A3	15	3	5	4.40	0.737	C2	15	3	5	4.07	0.594
A4	15	2	5	4.60	0.828	C3	15	4	5	4.53	0.516
A5	15	4	5	4.40	0.507	D1	15	3	5	4.47	0.640
B1	15	4	5	4.80	0.414	D2	15	4	5	4.40	0.507

根据公式(1),综合考虑基于 G1 法的主观权重和基于熵值法的客观权重,计算出 SMS 评价指标体系中各级指标的最终组合权重,详见表 3。

表 3 航空公司 SMS 各指标组合权重

一级指标	权重	二级指标	主观权重	客观权重	组合权重
A	0.27	A1	0.05	0.03	0.02
		A2	0.09	0.05	0.06
		A3	0.07	0.04	0.04
		A4	0.06	0.05	0.04
		A5	0.04	0.22	0.11
B	0.26	B1	0.18	0.05	0.12
		B2	0.15	0.07	0.14
		C1	0.08	0.10	0.10
C	0.22	C2	0.05	0.03	0.02
		C3	0.07	0.12	0.11
		D1	0.10	0.03	0.03
D	0.25	D2	0.08	0.22	0.22

4.2 云模型综合评价等级

4.2.1 确定航空公司 SMS 成熟度标准云

本文将航空公司 SMS 成熟度划分为 5 个等级,并根据各等级的评语集范围,代入公式(2)进行计算,以获得航空公司 SMS 成熟度的标准云数字特征。成熟度等级从低到高对应的云模型数字特征分别为 (30,10,0.1)、(65,1.67,0.1)、(75,1.67,0.1)、(85,1.67,0.1)、(95,1.67,0.1)。

引入正向云发生器,输入成熟度标准云数字特征 (Ex,En,He),利用 MATLAB 软件绘制出标准云图。通过试验和验证确定合适的云滴个数 N 为 3 000,以保证模型的有效性和准确性。如图 1 所示,用 L1 代表初始级、L2 代表成长级、L3 代表成熟级、L4 代表优秀级、L5 代表卓越级。

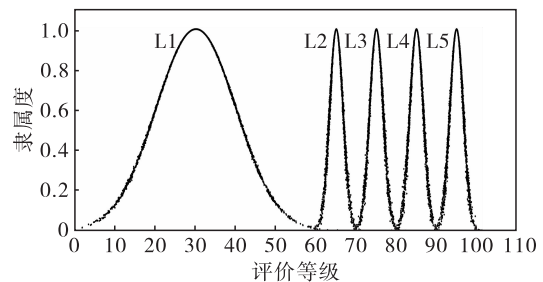


图 1 航空公司 SMS 成熟度标准云

4.2.2 确定航空公司 SMS 成熟度评价云

邀请某航空公司 20 位安全管理方面的内部人员,根据航空公司实施 SMS 成熟度程度进行打分,满分为 100,统计结果详见表 4。

表 4 某航空公司 SMS 成熟度评价数据统计

名称	样本量	最小值	最大值	平均值	标准差	中位数
A1	20	80.00	95.00	89.00	5.03	90.00
A2	20	80.00	95.00	88.70	5.40	90.00
A3	20	78.00	97.00	88.80	5.60	90.00
A4	20	75.00	98.00	87.40	6.96	85.50
A5	20	75.00	95.00	86.40	6.03	86.50
B1	20	80.00	96.00	89.15	5.11	90.00
B2	20	78.00	95.00	88.50	6.11	90.00
C1	20	75.00	96.00	87.50	5.84	90.00
C2	20	70.00	95.00	86.25	7.03	89.50
C3	20	75.00	95.00	86.55	5.90	85.00
D1	20	75.00	98.00	88.55	6.96	90.00
D2	20	65.00	96.00	86.30	8.62	90.00

将获取到的数据代入公式(3)计算得到该航空公司各指标评价云,运用公式(4)计算可得到该航空公司综合评价云(88.24,6.5,2),详见表 5。

表 5 某航空公司 SMS 成熟度综合评价云

一级指标	数字特征	二级指标	数字特征	综合数字特征
A	(88.31,6.12,1.84)	A1	(89.00,5.26,1.56)	(88.24,6.50,2.00)
		A2	(88.70,5.80,2.12)	
		A3	(88.80,5.81,1.58)	
		A4	(87.40,7.57,2.97)	
		A5	(86.40,6.02,0.41)	
B	(88.86,5.97,1.78)	B1	(89.15,5.16,0.73)	(88.24,6.50,2.00)
		B2	(88.50,6.83,3.06)	
C	(87.70,6.53,1.95)	C1	(87.50,6.08,1.70)	(88.24,6.50,2.00)
		C2	(86.25,7.30,1.96)	
		C3	(86.55,6.27,2.14)	
D	(87.52,7.94,2.57)	D1	(88.55,7.57,2.97)	(88.24,6.50,2.00)
		D2	(86.30,8.36,2.11)	

4.2.3 确定航空公司 SMS 成熟度等级

基于正向云发生器和云模型的转换模型,将实际云以大量云滴的形式显示,运用 MATLAB 编程,可得到一级指标和综合评价结果的云图,如图 2 和图 3 所示。

从图 2 所示各指标成熟度等级的评价结果可以明显看出,4 个指标的评价云滴均与“L4”更为接近,则

评价等级均为“优秀级”。研究表明：该航空公司在安全政策和目标实施方面管理全面，并配备了独立的经过培训的安全总监；安全风险管理方面，该航空公司具备较为完善的危险源识别能力，已能够全面管理并优化安全风险评估与控制流程；安全保证方面，该航空公司已能全面管理和优化安全绩效评估流程，具备完善的变更控制机制；安全促进方面，该航空公司已建立完善的安全教育和培训制度，安全交流逐渐全面和准确。

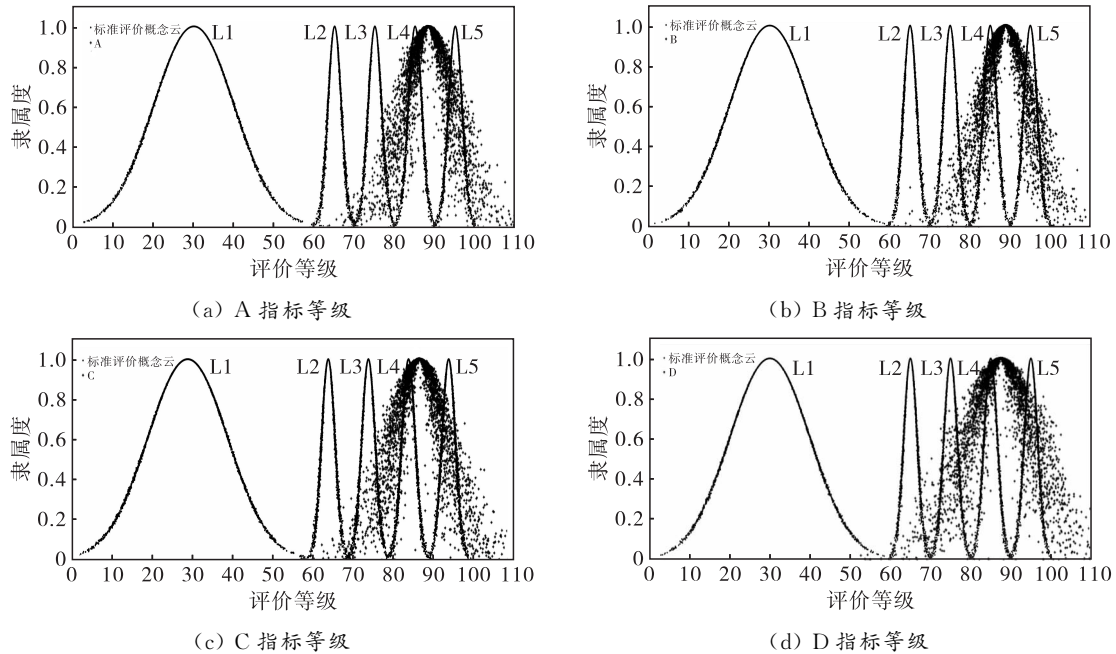


图 2 某航空公司 SMS 各指标成熟度等级

从图 3 的综合评价结果中可以明显观察到，该航空公司 SMS 成熟度整体水平为“优秀级”，离“卓越级”还有一定距离，仍需采取必要措施进一步提升航空公司 SMS 成熟度。“安全促进”的期望值最低，应作为重点提升目标，深化航空公司安全文化内涵，营造良好氛围。安全保证方面，需加强自查环节，深入分析和改进问题。安全政策和目标与安全风险管理的期望值较高，但仍需加强政策调整和定期评审，明确职责分工，制定针对性技能提升计划，并推动数字化转型以提高安全性和运营效率。

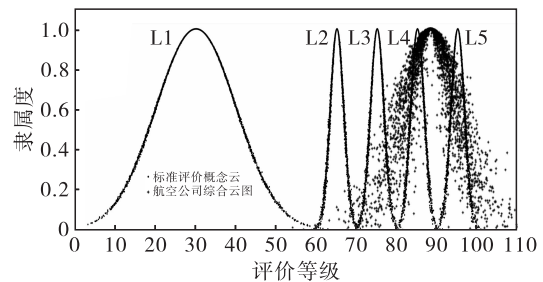


图 3 某航空公司 SMS 成熟度综合等级

5 结论

针对航空公司 SMS 成熟度评价的研究，本文基于 SMS 的四大支柱建立了评价指标体系，并通过组合赋权法有效确定各指标的权重，引入成熟度理念，构建了基于云模型的航空公司 SMS 成熟度评价模型，确定了某航空公司的 SMS 成熟度等级为“优秀级”。由此，本文得出以下结论：

(1) G1-熵值法的组合赋权法充分结合了两者的优点，提供了更合理和客观的权重分配。结合云模型理论，实现了航空公司 SMS 成熟度评价中的定性与定量分析有效转化，云模型以其独特的云图形式直观表征评价结果的模糊性与随机性，便于分析。

(2) 根据指标权重的确定结果，航空公司应优先增强对危险源识别、安全风险评价与控制以及安全交流这三方面的关注与投入，以有效提升其 SMS 成熟度水平。

(3) 某航空公司的评价结果显示,其 SMS 成熟度等级为“优秀级”,与实际情况基本一致。构建科学的评价体系与模型有效反映了该航空公司的 SMS 成熟度,为持续改进安全管理实践提供依据,并为其他航空公司的自我评价提供参考框架。

参考文献:

- [1] 中国民用航空局. 2024 年 6 月份主要生产指标统计[EB/OL]. (2024-07-19)[2024-09-10]. https://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/TJSJ/202407/t20240719_224761.html.
- [2] 郭曼泽,刘维强,张禹,等. 民航安全管理体系(SMS)建设的全球发展动态分析[J]. 民航管理,2023(12):45-50.
- [3] BUGAYKO D, LESHCHYNSKYI O, SOKOLOVA N. Analysis of the aviation safety management system by fractal and statistical tools[J]. Logistics and transport, 2019, 4(44): 41-60.
- [4] KARANIKAS N, ROELEN A, VARDY A, et al. Institutionalisation, capability and effectiveness of aviation safety management systems [C]//6th European STAMP Workshop & Conference: MATEC Web of Conferences. EDP Sciences, 2019.
- [5] 温超,张黎,孟斌,等. 基于 BP 神经网络的航空公司安全管理体系评价[J]. 河南科学, 2020, 38(10): 1660-1668.
- [6] 姜兰,吕忠,彭亚,等. 基于组合权重-Fuzzy 的航空公司安全管理体系有效性评估[J]. 安全与环境学报, 2021, 21(5): 2107-2113.
- [7] 申延. ZH 航空公司安全管理体系有效性评价及提升策略研究[D]. 南宁: 广西大学, 2022.
- [8] 陈阳怡. 基于 SMS 的航空公司运行控制安全绩效评价研究[D]. 广汉: 中国民用航空飞行学院, 2024.
- [9] ZHAO H L, ZHANG N, GUAN Y. Safety assessment model for dangerous goods transport by air carrier[J]. Sustainability, 2018, 10(5): 1306.
- [10] YANG H Y, FENG Y H. A Pythagorean fuzzy Petri net based security assessment model for civil aviation airport security inspection information system[J]. International journal of intelligent systems, 2021, 36(5): 2122-2143.
- [11] 张智华. 机场安全绩效评价指标体系研究[D]. 广汉: 中国民用航空飞行学院, 2020.
- [12] 张迪. A 地区空管局质量安全绩效评价研究[D]. 天津: 中国民航大学, 2020.
- [13] 中国民用航空局. 航空运营人安全管理体系(SMS)建设要求[EB/OL]. (2024-02-08)[2024-09-10]. https://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/GFXWJ/202403/t20240328_223346.html.
- [14] 彭张林,张爱萍,王素凤,等. 综合评价指标体系的设计原则与构建流程[J]. 科研管理, 2017, 38(S1): 209-215.
- [15] 王永刚,刘惠春. 民航安全管理体系与双重预防机制对比研究[J]. 综合运输, 2023, 45(9): 22-27.
- [16] 高宇恒. 机场安全管理成熟度评价研究[D]. 天津: 中国民航大学, 2020.
- [17] 李鸿志,邹树梁,唐德文,等. 基于层次模糊综合评价的安全标准化成熟度评价[J]. 安全与环境学报, 2015, 15(2): 38-42.
- [18] 李继承,王永刚,陈芳. 航空公司 SMS 的成熟度评价[J]. 中国民用航空, 2012(9): 43-44.
- [19] 苏明清. 航空公司安全绩效评测与管理研究[D]. 天津: 中国民航大学, 2019.
- [20] 李德毅,孟海军,史雪梅. 隶属云和隶属云发生器[J]. 计算机研究与发展, 1995(6): 15-20.
- [21] 李英攀,刘名强,王芳,等. 装配式建筑项目安全绩效云模型评价方法[J]. 中国安全科学学报, 2017, 27(16): 115-120.

Maturity Evaluation of Airline Safety Management System Based on Cloud Modeling

XIE Xiaofang, GUO Xiaoru

(School of Civil Aviation, Zhengzhou University of Aeronautics,
Zhengzhou 450046, China)

Abstract: Safety is the foundation of civil aviation development, and the establishment of a sound safety management system has become an important link in the development of global civil aviation. In order to comprehensively and systematically analyze and evaluate the maturity of the safety management system of airlines, this paper constructs a safety management system maturity evaluation index system applicable to airlines based on the four pillars of safety policy and objectives, safety risk management, safety assurance and safety promotion; determines five maturity evaluation grades of the initial, growth, maturity, excellence and superiority levels, and combines the G1 method with the entropy method to determine the weights of each index, and constructs a cloud model based on the cloud model. The weight of each index is determined by combining the G1 method and the entropy value method, and an airline safety management system maturity evaluation model based on the cloud model is constructed. An airline is taken as the research object to evaluate the maturity level of its safety management system. The results show that the maturity level of the airline's safety management system is rated as "excellent", which is basically consistent with the actual situation, verifying the effectiveness of the evaluation model and helping the airline to realize sustainable safety development.

Keywords: safety management system; maturity level; airlines; indicator weights; cloud modeling; integrated evaluation

(责任编辑:唐立平)

引用格式 谢晓芳,郭晓茹. 基于云模型的航空公司安全管理体系成熟度评价[J]. 山东航空学院学报, 2024, 41(3): 21-30.
XIE X F, GUO X R. Maturity evaluation of airline safety management system based on cloud modeling[J]. Journal of Shandong University Aeronautics, 2024, 41(3): 21-30.