

## 机场韧性内涵与评价方法

齐麟, 怀永成, 石向楠, 乔龙, 梁梓博, 梅凤清  
(中国民航大学交通科学与工程学院, 天津 300300)

**摘要:** 在国家推进韧性交通的背景下, 本文全面考虑机场系统构成的各维度, 以机场的高效运行为目标, 从机场技术韧性和管理韧性两方面提出机场韧性的内涵, 建立机场韧性评价模型, 基于层次分析法和专家打分法提出机场韧性的评价方法。以北方某4E级机场为例, 对其韧性进行评价, 结果表明, 该机场总体韧性得分为8.20, 评价为优; 其中技术韧性得分为8.24, 评价为优; 管理韧性得分为7.98, 评价为良。最后, 针对该机场韧性薄弱的部分提出了相应的提升措施。

**关键词:** 机场运行; 韧性评价; 技术韧性; 管理韧性; 层次分析法(AHP)

**中图分类号:** V351 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-5590(2026)02-0048-06

### Connotation and evaluation method of airport resilience

QI Lin, HUAI Yongcheng, SHI Xiangnan, QIAO Long, LIANG Zibo, MEI Fengqing  
(College of Transportation Science and Engineering, CAUC, Tianjin 300300, China)

**Abstract:** In the context of the national promotion of resilient transportation, this paper comprehensively considers the various dimensions of the airport system, aims at the efficient operation of the airport, puts forward the connotation of airport resilience from two aspects: technical resilience and management resilience, and establishes an airport resilience evaluation model based on the analytic hierarchy process (AHP) and expert scoring method. Taking a 4E-class airport in northern China as an example, this paper evaluates its resilience. The results show that the overall resilience score of the airport is 8.20, evaluated as excellent; the technical resilience score is 8.24, evaluated as excellent; and management resilience score is 7.98, evaluated as good. Finally, corresponding improvement measures are proposed for the weak links of airport resilience.

**Key words:** airport operation; resilience evaluation; technical resilience; management resilience; analytic hierarchy process (AHP)

民航机场在运行时会面临不利环境条件与突发事件等各方面的风险, 这些风险会使机场的运行能力下降或中断。既有的机场风险防控研究聚焦于减弱扰动的的影响, 未反映机场对扰动的适应能力及恢复能力, 因此, 需要新的指标对突发事件与自然灾害下的机场运行能力全过程进行评价, 进而提出应对措施。

能够适应环境变化, 具有较强的抵抗力和必要的冗余性, 能承受突发事件并实现功能恢复的性能即为韧性。韧性的概念最早由机械、心理学领域的学者提出, 后来延伸到生态学领域<sup>[1]</sup>。随着研究的深入, 韧性的理念已经在建筑、材料、工业经济、资源环境等多个

领域得到应用<sup>[2-4]</sup>。韧性的相关研究可以明确系统的运行状况, 定位系统中韧性薄弱的部分, 并据此提出针对性的韧性提升措施, 从而提高系统的运行能力。交通领域的韧性研究已成为国家战略, 《国家“十四五”规划纲要》中提出了建设韧性城市, 《国家综合立体交通网规划纲要》将交通网韧性作为系统指标之一, 《交通强国建设纲要》中提出了“实现立体互联, 增强系统弹性”。

近年来, 越来越多的学者对民航领域的韧性开展了研究。Clark<sup>[5]</sup>采用复杂网络理论对航线网络韧性特征如恢复性、适应能力、脆弱性、鲁棒性、抗毁性

收稿日期: 2024-06-02; 修回日期: 2024-12-24

基金项目: 国家重点研发计划项目(2021YFB2600500); 中国民航大学研究生科研创新项目(2021YJS054)

作者简介: 齐麟(1982—), 男, 山西太原人, 教授, 博士, 研究方向为机场工程。

等进行研究,其研究对象为航线网络,未涉及机场。Levenberg 等<sup>[6]</sup>研究了机场跑滑系统恢复力的计算方法,但未反映整个机场的韧性情况。Zhou 等<sup>[7]</sup>通过回归分析研究了机场恢复力的影响因素,但未考虑机场韧性从受扰动到恢复的整个过程。Comes 等<sup>[8]</sup>采用仿真模拟评估了机场基础设施的抗灾能力。Huang 等<sup>[9]</sup>采用问卷调查或专家打分法对机场的抗灾能力和复原力进行计算,但未提出系统的理论方法。由此可见,目前对机场韧性的研究仍缺乏系统性,还需开展深入研究。本文讨论了机场韧性的内涵,建立了机场韧性评价模型,提出了基于层次分析法的韧性评价方法,进

而对机场韧性进行准确、全面的评价。

## 1 机场韧性内涵

机场是一个体量庞大、组成复杂的系统,其构成如图 1 所示。

机场环境情况对灾害的发生、设备的故障概率有显著影响;机场技术系统是保证机场运行的基本手段;机场管理系统是机场运行的基本保障。机场技术系统与管理系统在机场环境条件下相互作用,实现机场的运行能力。

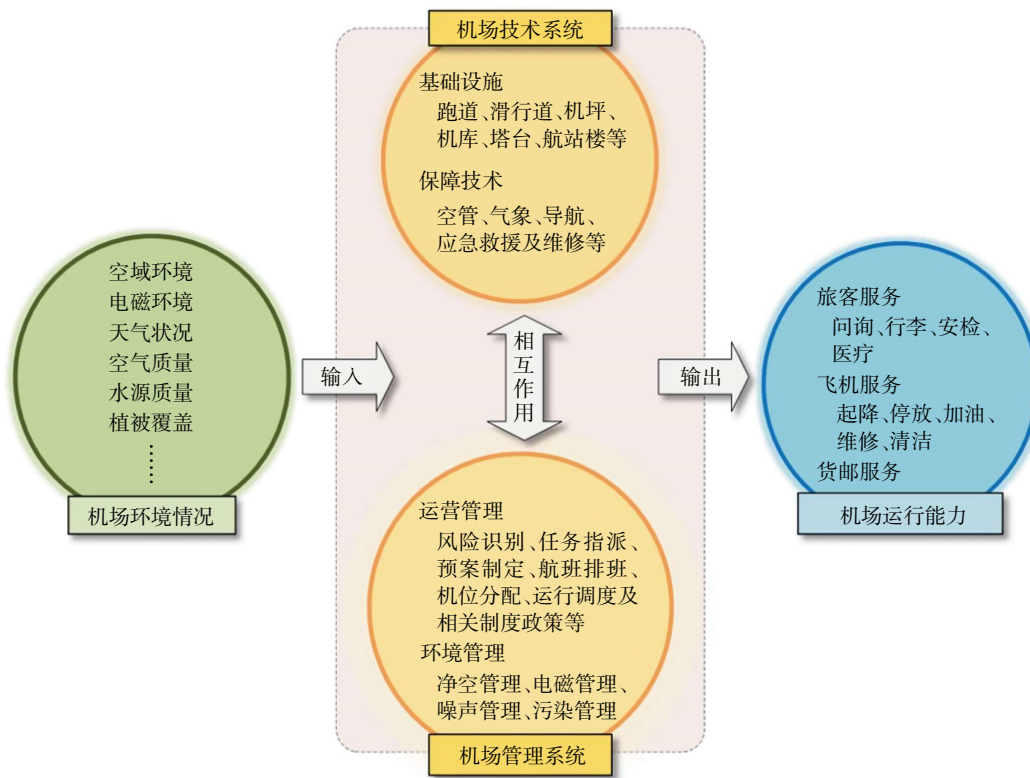


图 1 机场系统构成

Fig.1 Airport system composition

根据以上分析,本文从机场技术系统和管理系统两方面阐述机场韧性的内涵。

### 1.1 机场技术韧性

#### 1.1.1 机场基础设施韧性

机场基础设施韧性体现为基础设施的冗余性、可靠性和先进性。冗余性指在意外发生后,机场可通过备用的基础设施来保证其正常运行;可靠性指设置合理的日常检修和维护策略,以保证机场基础设施的正常使用,以及在出现故障后能够迅速维修以恢复其功能;先进性指保证机场基础设施的信息化程度,包括

使用物联网、云计算等技术手段将机场基础设施的使用状态和运行情况有效地同步到机场的相关部门,便于相关人员调用处理。

#### 1.1.2 机场保障技术韧性

机场保障技术韧性指保障技术的可靠性、及时性和高效性。可靠性指保障设施始终维持高性能状态,以充分应对机场可能发生的意外事件;及时性指当机场基础设施故障或人为操作失误使机场的正常运行受到扰动时,各类保障技术能及时发挥作用,可对各种扰动进行处理;高效性指应用保障技术对扰动进行

有效干预,保证处理质量与处理速度,使机场运行能力尽快恢复。

### 1.2 机场管理韧性

#### 1.2.1 机场运营管理韧性

机场运行离不开运营管理,包括管理部门对各部门员工的培训和任务指派,以及对航班的排班、对应急预案的制定等。机场的运营管理韧性体现在管理方案的可达性和高效性上。可达性即员工能及时收到任务指派并迅速开始工作,是机场从意外事件中快速恢复的重要保证;高效性指机场运营部门采取信息化管理手段,使各部门协调合作,提高工作效率,避免当服务对象过多时发生拥堵,使机场的运行效率降低。

机场运营管理韧性还体现在运营管理制度的适用性和灵活性上。适用性指针对中国国情和机场的实际运营情况采取具有中国特色的制度和标准,按中国机场实际情况及时更新和完善相关制度和政策;灵活性指当重大事件发生后,相关部门能够迅速出台有效措施以快速恢复机场的运行能力。

#### 1.2.2 机场环境管理韧性

机场环境管理包括对净空环境、电磁环境的管理,使机场的基础设施和保障设施能正常使用,保证飞机正常起降,以维持机场的正常运行;还包括对噪声、污染等方面的管理,保证机场对周边环境的干扰维持在标准范围内,减少对生态环境和周边居民生活的影响。

机场环境管理韧性体现在管理的落实性、有效性和先进性上。落实性指通过机场环境管理常态化,有专门的管理部门定期对机场环境进行检查,保证机场环境维持正常状态;有效性指通过机场环境管理,使

机场环境满足飞机适航条件,对周边环境的影响处于较低水平;先进性指机场环境管理中先进手段的应用,例如对智能化噪声监控系统、智能电磁监测与警告系统的应用等。

### 1.3 机场韧性

机场韧性是机场技术韧性和管理韧性的总和。机场技术韧性是机场管理韧性的基础,其中机场基础设施韧性保证了机场各类基础设施的高效安全运行,是机场各种服务得以开展的前提;机场保障技术韧性保证了机面对突发事件的适应性。机场技术韧性提升了机场管理韧性,机场管理韧性推动了机场技术韧性。机场基础设施韧性与保障技术韧性为机场管理韧性提升提供了载体与手段,机场管理韧性为推动机场基础设施和保障技术韧性的提升提供了规范与措施。两类韧性密切联系、相辅相成,共同构成了机场韧性。

## 2 基于层次分析法的机场韧性评价

层次分析法的主要原理是把与目标相关的因素分解,通过专家经验或其他判定条件在因素间进行两两比较,结合定性 with 定量分析,计算出各因素的权重<sup>[10]</sup>。本文首先建立了机场韧性评价指标的层次结构模型,然后采用层次分析法确定各指标的权重,对专家进行问卷调查得到二级指标得分,按模型结构逐层计算,最终得到机场韧性的评价结果。具体步骤如下。

#### 1) 建立机场韧性评价指标的层次结构模型

针对机场韧性的各组成部分,按变量的性质和类型分析其层次结构,自上而下地建立机场韧性评价指标层次结构模型,如图2所示。

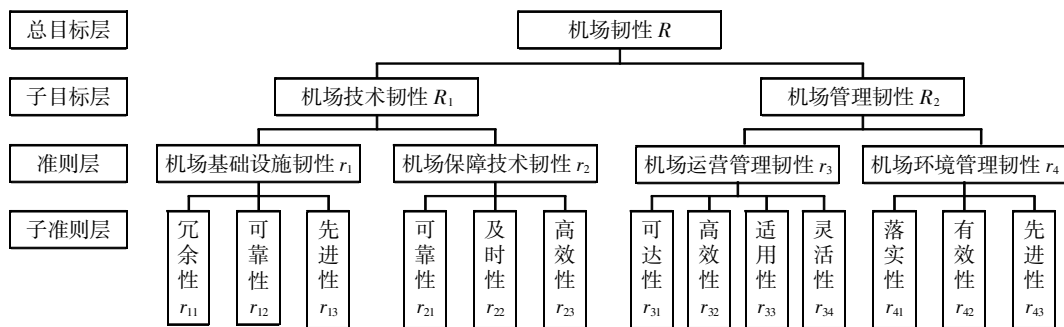


图2 机场韧性评价指标的层次结构模型

Fig.2 Hierarchical structure model of airport resilience evaluation indicators

由图2可以看出,机场韧性位于总目标层,是本模型的最终评价结果,子目标层包括机场技术韧性和机场管理韧性2个评价结果,每个评价结果分别对应准则层的2个一级指标,每个一级指标分别对应子准则层的3~4个二级指标,共同构成了机场韧性评价指

标的层次结构模型。

#### 2) 构造判断矩阵

由机场韧性定义可知,机场基础设施、保障技术、运营管理、环境管理韧性分别受不同类型因素的影响,这些因素对韧性的影响程度也不同。因素之间的

重要程度采用比例标度法进行两两比较, 具体规则如表 1 所示, 第  $i$  个因素和第  $j$  个因素的比较结果  $\alpha_{ij}$  为判断矩阵  $A$  的第  $i$  行第  $j$  列元素。

表 1 “1:9”比例标度法

Tab.1 "1:9" ratio scale method

$\alpha_{ij}$ 的标度	含义	$\alpha_{ij}$ 的标度	含义
1	第 $i$ 个因素和第 $j$ 个因素同样重要	7	第 $i$ 个因素比第 $j$ 个因素强烈重要
3	第 $i$ 个因素比第 $j$ 个因素稍重要	9	第 $i$ 个因素比第 $j$ 个因素极端重要
5	第 $i$ 个因素比第 $j$ 个因素明显重要	2, 4, 6, 8	上述相邻判断的中间值

得到如下所示的判断矩阵

$$A = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \cdots & \alpha_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ \alpha_{n1} & \cdots & \alpha_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中,  $n$  为矩阵阶数。

3) 求解判断矩阵和一致性检验

采用和积法求解矩阵, 首先将矩阵标准化, 标准化后的元素为

$$\beta_{ij} = \alpha_{ij} / \sum_{i=1}^n \alpha_{ij} \quad (2)$$

计算各因素的权重

$$\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)^T \quad (3)$$

其中

$$\omega_i = \sum_{j=1}^n \beta_{ij} / n \quad (4)$$

由人的主观意志建立的判断矩阵可能会不一致, 因此, 需对每个判断矩阵进行一致性检验。对于每个判断矩阵  $A$ , 首先计算其最大特征根, 计算公式为

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{b_i}{\omega_i} \quad (5)$$

其中

$$(b_i)_{n \times 1} = A \times \omega \quad (6)$$

然后计算一致性指标

$$e_{CI} = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad (7)$$

若  $e_{CI} = 0$ , 则矩阵一致, 否则根据表 2, 由矩阵阶数  $n$  查找该矩阵对应的随机一致性指标  $e_{RI}$ , 并计算其一致性比率, 即

表 2 不同阶数矩阵的随机一致性指标

Tab.2 Random consistency index of matrices with different orders

$n$	$e_{RI}$	$n$	$e_{RI}$
1	0	5	1.12
2	0	6	1.24
3	0.58	7	1.32
4	0.90	8	1.41

$$e_{CR} = e_{CI} / e_{RI} \quad (8)$$

若  $e_{CR} < 1$ , 则该矩阵不一致程度符合要求, 求得的权向量成立。

4) 机场韧性评价结果

由式(3)计算得到的权重值, 结合专家对子准则层指标的打分结果, 可得机场韧性的综合得分计算公式为

$$S_R = \sum_{i=1}^2 \omega_i S_{R_i} = \sum_{m=1}^4 \omega_m S_{r_m} = \sum_{m=1}^4 \sum_{k=1}^K \omega_{mk} S_{r_{mk}} \quad (9)$$

式中:  $S$  为相应指标的得分;  $\omega_i$  为子目标层  $R_i$  的权重;  $\omega_m$  为准则层指标  $r_m$  的权重;  $\omega_{mk}$  为子准则层指标  $r_{mk}$  的权重;  $K$  为子准则层指标数。

根据机场韧性计算结果对机场韧性水平进行评价, 评价标准为: 得分(8, 10]评价为优; 得分(6, 8]评价为良; 得分(4, 6]评价为中; 得分(2, 4]评价为较差; 得分[0, 2]评价为差。

### 3 实例分析

#### 3.1 北方某 4E 级机场韧性评价

以北方某 4E 级机场为例进行韧性评价。在机场的建设、运行、管理、科研等领域选取 16 名专家, 使用层次分析法对每级指标的相对重要程度进行打分, 取平均值后确定模型中每个指标的相对权重和绝对权重, 构造如下所示的判断矩阵

$$A_{r_1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 4.9 \\ 0.25 & 1 & 2 \\ 0.204 & 0.5 & 1 \end{bmatrix} \quad A_{r_2} = \begin{bmatrix} 1 & 7 & 6.2 \\ 0.141 & 1 & 1 \\ 0.161 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_{r_3} = \begin{bmatrix} 1 & 5.4 & 5.6 & 6.1 \\ 0.185 & 1 & 1.5 & 0.5 \\ 0.179 & 0.667 & 1 & 0.833 \\ 0.164 & 2 & 1.2 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_{r_4} = \begin{bmatrix} 1 & 6.6 & 7.4 \\ 0.152 & 1 & 2 \\ 0.135 & 0.5 & 1 \end{bmatrix} \quad A_{R_1} = \begin{bmatrix} 1 & 6.2 \\ 0.161 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_{R_2} = \begin{bmatrix} 1 & 5.9 \\ 0.169 & 1 \end{bmatrix} \quad A_R = \begin{bmatrix} 1 & 6.1 \\ 0.164 & 1 \end{bmatrix}$$

采用和积法求解判断矩阵, 得到各因素权重

$$\omega_{r_1} = \begin{bmatrix} 0.6814 \\ 0.2006 \\ 0.1180 \end{bmatrix} \quad \omega_{r_2} = \begin{bmatrix} 0.7684 \\ 0.1133 \\ 0.1183 \end{bmatrix} \quad \omega_{r_3} = \begin{bmatrix} 0.6487 \\ 0.1094 \\ 0.0991 \\ 0.1428 \end{bmatrix}$$

$$\omega_{r_1} = \begin{bmatrix} 0.772 & 0 \\ 0.142 & 0 \\ 0.086 & 0 \end{bmatrix} \omega_{R_1} = \begin{bmatrix} 0.861 & 2 \\ 0.138 & 8 \end{bmatrix} \omega_{R_2} = \begin{bmatrix} 0.855 & 3 \\ 0.144 & 7 \end{bmatrix}$$

$$\omega_R = \begin{bmatrix} 0.859 & 1 \\ 0.140 & 9 \end{bmatrix}$$

对所得结果进行一致性检验,各矩阵的  $e_{CR}$  和  $e_{CI}$  如表 3 所示,各矩阵均通过一致性检验。

表 3 各判断矩阵的一致性检验结果

Tab.3 Consistency test results of each judgment matrix

矩阵	$\lambda_{max}$	$e_{CI}$	$e_{CR}$	一致性检验
$A_{r_1}$	3.026 6	0.013 3	0.025 6	通过
$A_{r_2}$	3.001 8	0.000 8	0.001 7	通过
$A_{r_3}$	4.108 9	0.036 3	0.040 8	通过
$A_{r_4}$	3.037 8	0.018 9	0.036 3	通过
$A_{R_1}$	1.999 1	0	—	通过
$A_{R_2}$	1.998 5	0	—	通过
$A_R$	2.000 2	0	—	通过

根据求得的权重,得到该机场韧性评价结果的计算表达式为

$$S_R = 0.859 1S_{R_1} + 0.140 9S_{R_2}$$

$$S_{R_1} = 0.861 2S_{r_1} + 0.138 8S_{r_2} =$$

$$0.861 2(0.681 4S_{r_{11}} + 0.200 6S_{r_{12}} + 0.118 0S_{r_{13}}) +$$

$$0.138 8(0.768 4S_{r_{21}} + 0.113 3S_{r_{22}} + 0.118 3S_{r_{23}})$$

$$S_{R_2} = 0.855 3S_{r_3} + 0.144 7S_{r_4} = 0.855 3(0.648 7S_{r_{31}} +$$

$$0.109 4S_{r_{32}} + 0.099 1S_{r_{33}} + 0.142 8S_{r_{34}}) +$$

$$0.144 7(0.772 0S_{r_{41}} + 0.142 0S_{r_{42}} + 0.086 0S_{r_{43}})$$

从该机场管理人员、工作人员、设计规划人员等中选取 12 名专家,对该机场韧性评价模型中子准则层的 13 个指标进行打分,结果如表 4 所示。

表 4 北方某 4E 级机场各指标得分结果(10 分制)

Tab.4 Scoring results of each indicator for a 4E-class airport in Northern China (10-point scale)

指标得分	平均值	指标得分	平均值
$S_{r_{11}}$	8.43	$S_{r_{32}}$	7.62
$S_{r_{12}}$	8.54	$S_{r_{33}}$	7.33
$S_{r_{13}}$	8.21	$S_{r_{34}}$	7.31
$S_{r_{21}}$	6.97	$S_{r_{41}}$	8.23
$S_{r_{22}}$	6.85	$S_{r_{42}}$	7.43
$S_{r_{23}}$	7.57	$S_{r_{43}}$	7.82
$S_{r_{31}}$	8.25	—	—

结合该机场的各指标得分及上文确定的权重,得

出该机场技术韧性、管理韧性及总体韧性的计算结果如表 5 所示,根据韧性指标评价标准,该机场总体韧性为优。其中,子目标层的机场技术韧性为优,机场管理韧性为良;准则层的机场基础设施韧性、机场环境管理韧性为优,机场保障技术韧性、机场运营管理韧性为良,机场保障技术韧性和运营管理韧性需要进一步提高。

表 5 北方某 4E 级机场韧性计算结果(10 分制)

Tab.5 Resilience calculation results for a 4E-class airport in Northern China(10-point scale)

总目标层	子目标层	准则层	子准则层
机场韧性 8.20	机场技术韧性 8.24	基础设施韧性 8.43	冗余性 8.43 可靠性 8.54 先进性 8.21
		保障技术韧性 7.03	可靠性 6.97 及时性 6.85 高效性 7.57
	机场管理韧性 7.98	运营管理韧性 7.96	可达性 8.25 高效性 7.62 适用性 7.33 灵活性 7.31
		环境管理韧性 8.08	落实性 8.23 有效性 7.43 先进性 7.82

### 3.2 北方某 4E 级机场韧性提升措施

对于机场保障技术韧性的提升,该机场需进一步提高应对灾害或事故扰动的维护、救援设施的等级和数量;对设施的运行、维护、维修、保养的全过程进行智能化升级;对保障服务的数据收集、数据处理分析、分析结果通知等全程进行信息化处理;使各类保障技术及时发挥作用,保证其处理质量与处理速度,使机场运行能力尽快恢复。

对于机场运营管理韧性的提升,该机场应将先进的人员管理理念、任务分配理念应用到机场的实际运行中,在云计算和大数据技术的基础上对机场的运行数据进行分析,形成更加完善的指挥运行服务体系,实现管理信息化、技术化,促进各部门协调合作,全面提高机场运行效率。

## 4 结语

本文以机场高效运行为目标,对机场韧性的内涵和评价方法进行研究,得出以下结论。

(1)分析机场系统的组成维度,从机场基础设施韧性与保障技术韧性等技术角度,以及机场运营管理

韧性与环境管理韧性等管理角度, 提出机场韧性的内涵。

(2) 建立机场韧性评价指标的层次结构框架, 基于层次分析法和专家打分法对指标权重进行计算, 得到机场韧性综合评价的计算公式, 根据韧性指标评价标准得到机场韧性的评价结果。

(3) 采用所提出的评价方法对北方某 4E 级机场的韧性进行评价, 得到该机场总体韧性为优, 其中机场技术韧性为优, 机场管理韧性为良, 符合该机场的实际情况, 并提出了针对性的机场韧性提升措施。

### 参考文献:

- [1] HOLLING C S. Resilience and stability of ecological systems[J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 1973, 4(1973): 1-23.
- [2] 齐麟, 王道通, 陈宇. 基于拓扑和韧性三角形理论的机场道面韧性评估方法[J]. 空军工程大学学报, 2024, 25(5): 29-36, 127.
- [3] 李连刚, 张平宇, 王成新, 等. 区域经济韧性视角下老工业基地经济转型过程: 以辽宁省为例[J]. 地理科学, 2021, 41(10): 1742-1750.
- [4] 吴浩, 江志猛, 林安琪, 等. 基于隐性—韧性—显性的武汉城市资源环境承载力空间特征[J]. 地理学报, 2021, 76(10): 2439-2457.
- [5] CLARK K L. Mitigating infrastructure risk: reducing uncertainty in resilience modeling[D]. Boston: Northeastern University, 2018.
- [6] LEVENBERG E, MILLER-HOOKS E, ASADABADI A, et al. Resilience of networked infrastructure with evolving component conditions: pavement network application[J]. Journal of Computing in Civil Engineering, 2017, 31(3): 04016060.
- [7] ZHOU L, CHEN Z H. Measuring the performance of airport resilience to severe weather events[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2020, 83: 102362.
- [8] COMES T, WARNIER M, FEIL W, et al. Critical airport infrastructure disaster resilience: a framework and simulation model for rapid adaptation[J]. Journal of Management in Engineering, 2020, 36(5): 04020059.
- [9] HUANG C N, LIU J J H, LO H W, et al. Building an assessment model for measuring airport resilience[J]. Journal of Air Transport Management, 2021, 95: 102101.
- [10] 陈蔚, 刘雪娇, 夏莹杰. 基于层次分析法的车联网多因素信誉评价模型[J]. 浙江大学学报(工学版), 2020, 54(4): 722-731.

(责任编辑: 明月)

(上接第 40 页)

安全强相关的实体词和事件类型。并基于抽取结果对空管各运行环节的安全性提升提出合理建议。

本文研究尚存在以下几个需要进一步优化的问题: ①空管安全领域文本的领域词库并不是一成不变的, 需要根据最新文献、指导文件、专家评论等进行有效更新, 这样才能确保分词的时效性与精确性; ②基于 TEM 模型的危险源信息抽取方法是针对危险源文本类型提出的, 未来的研究可继续添加不同类型的空管安全信息文本, 如不安全事件报告等, 以扩展研究的广度与深度。

### 参考文献:

- [1] 余雅莉. 民航空管危险源识别及其应用研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2018.
- [2] NASA. Aviation safety reporting system[R]. US: Ames, 1980.
- [3] ABEDIN M A, NG V, KHAN L. Cause identification from aviation safety incident reports via weakly supervised semantic lexicon construction[J]. Journal of Artificial Intelligence Research, 2010, 38: 569-631.
- [4] 毛佳静. EoR 技术应用的风险评估[D]. 广汉: 中国民用航空飞行学院, 2022.
- [5] 李海, 陈勇刚, 刘雨佳. 基于 AHP 的通航运行中危险源危险程度评估方法研究[J]. 西安航空学院学报, 2018, 36(5): 41-44.
- [6] 袁清波, 杨帆. 命名实体识别研究综述[J]. 现代计算机, 2021, 27(11): 74-78.
- [7] EDDY S R. Hidden Markov models[J]. Current Opinion in Structural Biology, 1996, 6(3): 361-365.
- [8] LAFFERTY J, MCCALLUM A, PEREIRA F. Conditional random fields: probabilistic models for segmenting and labeling sequence data[C]//International Conference on Machine Learning, Feb 26, 2021.
- [9] SIZOV G, ÖZTÜRK P, MARSİ E. Let me explain: adaptation of explanations extracted from incident reports[J]. AI Communications, 2017, 30(3/4): 267-280.
- [10] ICAO. Threat and error management in air traffic control: circular 314-2008[S]. Montreal: ICAO, 2008.
- [11] 李芳国, 张贝克, 高东. HAZOP 知识图谱构建方法[J]. 化工进展, 2021, 40(8): 4666-4677.
- [12] ZHAO Y F, HUA S S, REN X H. Relevance research of threat/error and undesired states in air traffic management based on Bayesian Network Model[J]. Journal of Air Transport Management, 2017, 60: 45-48.
- [13] 王洁宁, 朱妍. 基于事理图谱的飞行冲突事故演化研究[J]. 安全与环境学报, 2023, 23(6): 1961-1969.
- [14] 谷重阳, 徐浩煜, 周晗, 等. 基于词汇语义信息的文本相似度计算[J]. 计算机应用研究, 2018, 35(2): 391-395.

(责任编辑: 明月)