

机场抢修辅助决策知识图谱构建研究

杨洋^{1,2}, 黎明^{1,3}, 马继业²

¹陆军工程大学野战工程学院, 江苏 南京

²中国人民解放军93125部队, 江苏 徐州

³中国人民解放军69006部队, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2026年4月2日; 录用日期: 2026年5月25日; 发布日期: 2026年6月1日

摘要

针对民用机场道面突发损毁应急处置流程复杂、决策效率低的问题, 本文构建了机场抢修辅助决策知识图谱。研究基于有限状态机理论, 将应急处置过程抽象为状态识别、转移与恢复的逻辑模型, 定义了人员、设备、环境及管理核心要素的状态演变机制。通过设计包含实体、关系及约束规则的图谱模式层, 实现了抢修领域知识的结构化表达。

关键词

民用机场, 知识图谱, 应急抢修, 辅助决策

Research on the Construction of Knowledge Graph for Airport Emergency Repair Decision Support

Yang Yang^{1,2}, Ming Li^{1,3}, Jiye Ma²

¹Institute of Field Engineering, Army Engineering University, Nanjing Jiangsu

²Unit 93125, People's Liberation Army of China, Xuzhou Jiangsu

³Unit 69006, People's Liberation Army of China, Urumqi Xinjiang

Received: April 2, 2026; accepted: May 25, 2026; published: June 1, 2026

Abstract

To address the complex emergency response processes and low decision-making efficiency in dealing with sudden damage to civil airport runways, this paper constructs a knowledge graph for auxiliary decision-making in airport repair. Based on the finite state machine theory, the study abstracts the emergency response process into a logical model of state recognition, transfer, and recovery, defining

文章引用: 杨洋, 黎明, 马继业. 机场抢修辅助决策知识图谱构建研究[J]. 运筹与模糊学, 2026, 16(3): 1-15.

DOI: 10.12677/orf.2026.163021

the state evolution mechanisms of core elements such as personnel, equipment, environment, and management. By designing a graph pattern layer containing entities, relationships, and constraint rules, the study achieves a structured representation of knowledge in the repair domain.

Keywords

Civil Airport, Knowledge Graph, Emergency Repair, Auxiliary Decision-Making

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着民航运输量的持续增长，机场道面长期承受高荷载碾压与复杂环境侵蚀，突发性结构性损毁的风险日益凸显。如何在有限的时间窗口内，科学统筹多源保障要素并快速生成最优修复方案，已成为提升机场应急运维能力的关键难题。为此，本文引入知识图谱与有限状态机理论，首先从人员、设备、环境及管理四个维度对抢修保障要素进行系统解构，进而构建应急处置的逻辑模型与辅助决策体系。

知识图谱最初被应用于提升搜索引擎的效果，旨在处理广泛但零散的常识性知识[1]。随着其在知识表示与推理方面的强大能力得到认可，其应用范围逐渐扩展至众多专业领域。根据知识图谱中所包含知识的深度与范围，可将其划分为通用型和领域型两大类[2]，如图 1 所示。

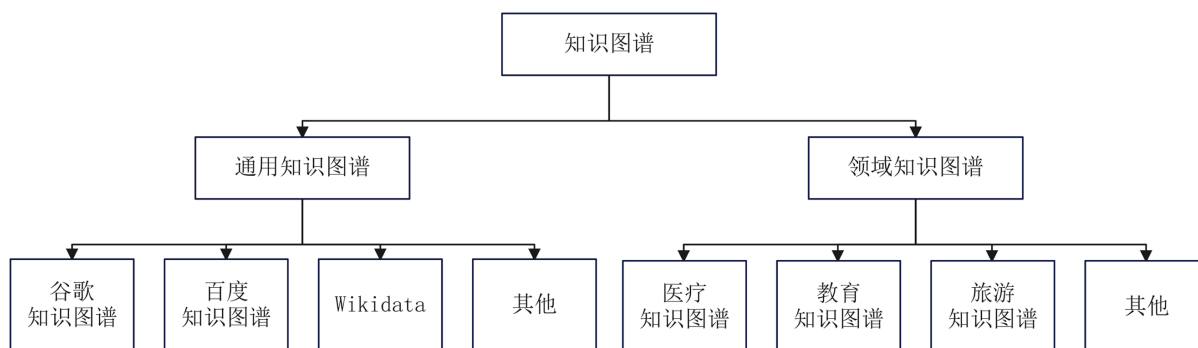


Figure 1. Common types of knowledge maps

图 1. 常见知识图谱类型

知识图谱凭借其强大的语义表达能力与结构化关联特性，已在诸多垂直领域的信息推荐与知识服务中得到广泛应用。国内学者围绕特定行业痛点，开展了系统性探索：既有面向通用推荐的理论与方法综述，如朱冬亮等对基于知识图谱的推荐系统进行了系统梳理[3]，亦涌现大量场景化实践——涵盖了从学习资源推荐[4]、中医药知识服务[5]到农业[6]与交通安全[7]等专业方向。上述成果充分验证了知识图谱在整合碎片化信息、实现情境感知与决策支持方面的有效性，为本研究构建机场道面抢修领域的知识驱动决策框架奠定了方法论基础。

2. 机场抢修保障要素与风险源

2.1. 抢修保障要素分类

民用机场抢修保障是一项复杂的系统工程，涉及多种要素的协同配合。抢修保障要素可归纳为人员

类、设备类、环境类和管理类四大类别。

(1) 人员类要素

人员类要素是抢修保障的核心主体，涵盖参与抢修作业的所有人力资源。各类人员要素及其主要风险源如表 1 所示。

Table 1. Personnel support elements and risk sources (example)

表 1. 人员类保障要素及风险源(示例)

序号	人员类型	具体岗位	主要风险源
1	指挥人员	总负责人、副总负责人	指挥决策失误、信息传递延迟
2	技术人员	损毁评估员、质量检测员	评估偏差、检测疏漏
3	作业人员	场务分队、工程连	操作不当、人员伤亡
4	保障人员	运输连、安全防护员	物资延误、安全防护不到位
5	外部人员	专家顾问、支援单位	协调困难、响应不及时

(2) 设备要素

设备类要素是抢修保障的物质基础，包括机场道面设施本身以及用于抢修作业的各类装备器材。各类设备要素及其主要风险源如表 2 所示。

Table 2. Equipment support elements and risk sources (example)

表 2. 设备类保障要素及风险源(示例)

序号	设备类型	具体设备	主要风险源
1	道面设施	跑道、滑行道、停机坪	道面损毁、结构失效
2	抢修装备	道面抢修车、切割机、搅拌机	设备故障、数量不足
3	辅助设备	运输车辆、发电设备、照明设备	动力中断、照明不足
4	检测设备	探伤仪、测量仪器	检测精度下降、设备损坏
5	通信设备	对讲机、指挥系统	通信中断、信息丢失

(3) 环境要素

环境类要素是抢修作业的外部约束条件，自然环境要素涵盖气象条件、地理环境、时间节点等。各类环境要素及其主要风险源如表 3 所示。

Table 3. Environmental support elements and risk sources (example)

表 3. 环境类保障要素及风险源(示例)

序号	环境类型	具体要素	主要风险源
1	气象条件	温度、降水、风速、能见度	恶劣天气影响作业、混凝土凝固异常
2	地理环境	机场地形、周边地貌、交通条件	地形限制、运输通道受阻
3	时间节点	昼夜时段、季节特征	夜间作业效率低、季节性影响
4	电磁环境	电磁干扰、通信频段	通信受阻、设备干扰

(4) 管理类要素

管理类要素是抢修保障的组织规范，包括应急响应等级、指挥关系、预案规则、制度标准等。各类管理要素及其主要风险源如表 4 所示。

Table 4. Management support elements and risk sources (example)

表 4. 管理类保障要素及风险源(示例)

序号	管理类型	具体内容	主要风险源
1	响应等级	I级至IV级应急响应	响应级别判定失误、升级不及时
2	指挥关系	隶属关系、协作关系	指挥链条混乱、协调困难
3	预案规则	处置流程、作业标准	预案缺失、流程不适用
4	制度标准	技术规范、验收标准、安全规定	标准执行不严、验收疏漏
5	资源调配	人员配置、物资分配	资源配置不合理、优先级冲突

2.2. 风险源识别与梳理

风险源识别是抢修保障能力评估和应急处置决策的基础性工作[8]。风险源可归纳为平时故障风险源和环境灾害风险源。各类平时故障风险源的具体分类如表 5 所示。气象灾害是环境灾害风险源的主要类型，各类气象灾害风险源的影响特征如表 6 所示。

Table 5. Classification and characteristics of usual fault risk sources (example)

表 5. 平时故障风险源分类及特征(示例)

序号	故障类型	具体表现	主要成因	发生频率
1	道面裂缝	线性裂缝、网状裂缝	温度应力、材料疲劳	高
2	道面沉降	局部下沉、不均匀沉降	地基不稳、重载碾压	中等
3	道面剥落	表层脱落、骨料外露	冻融循环、化学腐蚀	中等
4	设备故障	性能下降、功能失效	磨损老化、维护不足	较高
5	系统故障	信息延迟、协调不畅	流程缺陷、人员失误	中等

Table 6. Risk sources and impact characteristics of meteorological disasters (example)

表 6. 气象灾害风险源及影响特征(示例)

序号	气象类型	典型参数	主要影响	应对措施
1	暴雨	降水量、持续时间	积水、凝固异常、运输受阻	排水、覆盖、调整工艺
2	暴雪	降雪量、积雪深度	覆盖道面、能见度低、作业困难	清雪、照明、防寒
3	大风	风速、风向	设备不稳、人员安全、通信干扰	加固、避险、备用通信
4	高温	温度、日照强度	材料性能变化、人员疲劳	降温、轮班、调整时段
5	低温	温度、冻融循环	材料凝固慢、设备启动难	保温、加热、防冻

3. 机场现有应急处置流程分析

3.1. 损毁信息报告流程

损毁信息报告是应急处置的起始环节，其核心目标是将机场发生故障的情况快速、准确地传递至指挥决策层，为后续抢修决策提供信息支撑。损毁信息报告流程的整体架构如图 2 所示。

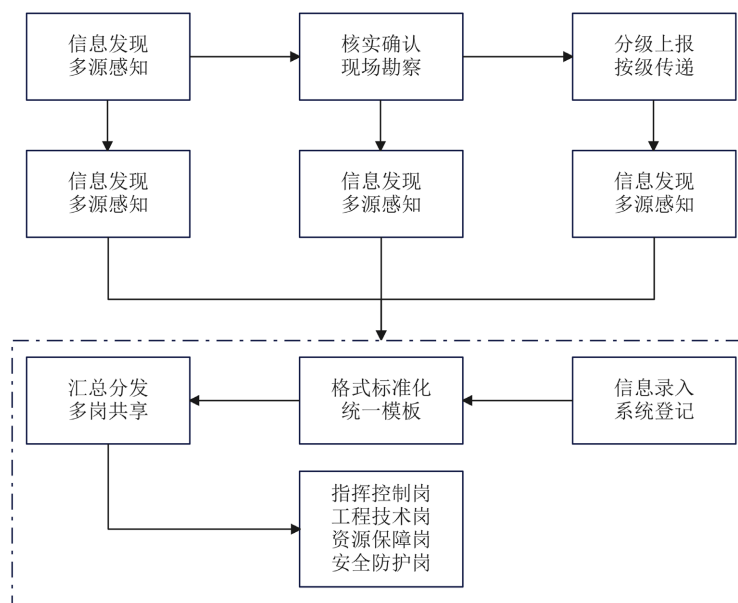


Figure 2. Flow chart of damage information report
图 2. 损毁信息报告流程架构图

3.2. 指挥决策流程

指挥决策流程是应急处置的核心环节，承接毁伤信息报告流程的输出成果，将毁伤评估信息转化为具体的抢修行动方案。(1) 决策主体与权限，指挥决策的主体是抢修指挥部，指挥部由总负责人、副总负责人和各职能组组长组成；(2) 决策内容与要素，指挥决策的核心内容是制定抢修方案，方案需要综合考量损毁程度、可用资源、周边环境、环境条件等多重因素；(3) 决策依据与约束，指挥决策需要依托多方面的信息支撑，决策过程中需要遵循多项约束条件；(4) 决策输出与传递，指挥决策的输出成果是抢修方案和作业指令。

3.3. 资源调配流程

资源调配流程是应急处置的物质保障环节，承接指挥决策流程输出的抢修方案，将方案中的资源配置要求转化为具体的资源调度行动。(1) 资源需求汇总，资源需求汇总由工程技术岗位根据抢修方案提报，形成标准化的资源需求清单；(2) 资源状态核查，资源保障岗位接到需求清单后，首先对现有资源状态进行核查，确认库存物资、可用设备、在岗人员的具体情况；(3) 资源调度方案制定，资源保障岗位根据需求清单和可用状态表，制定资源调度方案；(4) 运输组织与配送，运输组织是资源调配的执行环节，负责将调度方案中的资源按时送达作业现场；(5) 资源调配协同机制，资源调配涉及多个岗位的协同配合，需要建立有效的协同机制确保信息畅通、行动协调。

3.4. 施工实施流程

施工实施流程是应急处置的执行环节，承接资源调配流程输出的资源配置成果，将抢修方案转化为

实际的道面修复作业。(1) 作业组织与任务分配, 作业组织由工程施工岗位按照指挥决策流程下达的作业指令组织实施; (2) 施工工艺与作业规范, 施工工艺选择根据损毁类型和技术规范确定; (3) 进度监控与动态调整, 进度监控是施工实施过程的管理环节, 实时跟踪各作业点的施工进度, 及时发现并解决影响进度的问题; (4) 质量检验与过程控制, 质量检验贯穿施工实施的全过程; (5) 施工记录与信息管理, 施工记录是施工实施过程的信息沉淀, 为后续验收评估和总结改进提供数据支撑。

3.5. 验收恢复流程

验收恢复流程是应急处置的收尾环节, 承接施工实施流程输出的修复成果, 将完成的抢修工程转化为可投入使用的机场道面设施。(1) 验收组织与程序, 验收组织由技术支持岗位按照指挥决策流程下达的验收指令组织实施; (2) 验收标准与指标, 验收标准依据技术规范和质量要求确定; (3) 功能测试与评估, 功能测试是验收恢复的关键环节, 通过实际使用验证修复效果; (4) 资料归档与知识沉淀, 资料归档是验收恢复的知识沉淀环节, 将抢修过程中产生的各类数据进行结构化存储; (5) 能力恢复与总结改进, 能力恢复是验收恢复的资源补充环节, 确保抢修力量恢复至运营状态。

4. 民用机场抢修应急处置逻辑

应急处置的本质过程即为机场抢修系统内各种组成要素从非正常状态恢复到正常状态的过程。可运用有限状态机(Finite State Machine, FSM)理论构建描述对象状态演变的数学模型。

4.1. 有限状态机概述

有限状态机(Finite State Machine, FSM)是一种用于描述离散系统行为的数学计算模型[2]。在形式化定义上, 一个确定的有限状态机通常由一个五元组表示: $M = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$ 其中 Q 为有限的状态集合, 包含了系统所有可能的状态, $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ 。 Σ 为有限的输入事件集合, 包含了所有可能触发状态迁移的外部输入, $\Sigma = \{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_m\}$ 。 $\delta: Q \times \Sigma \rightarrow Q$ 为状态转移函数, 定义了在一定状态 $q \in Q$ 下, 接收到 $\sigma \in \Sigma$ 时, 系统应迁移到的下一个状态 $q' \in Q$ 。 $q_0 \in Q$ 为初始状态, 即系统开始运行时所处的状态。 $F \subseteq Q$ 是终止状态集合, 是系统允许结束运行的状态子集。状态转移函数 δ 的数学表达为: $\delta(q_i, \sigma_j) = q_k$ 表示当系统处于状态 q_i 时, 在输入事件 σ_j 的触发下, 系统将转移至状态 q_k 。

从模型构成与应用角度看, 一个有限状态机包含四个基本要素: 状态、状态转移、动作与转移条件(事件)。根据是否产生输出, 有限状态机可以分为接收器与转换器两大类。本研究选用接收器类型的有限状态机模型, 来对应急处置的内在逻辑进行形式化描述。有限状态机的各个状态之间应存在连通关系, 能够组成一个连通图, 不存在孤立的状态。具体示例如图 3 所示。

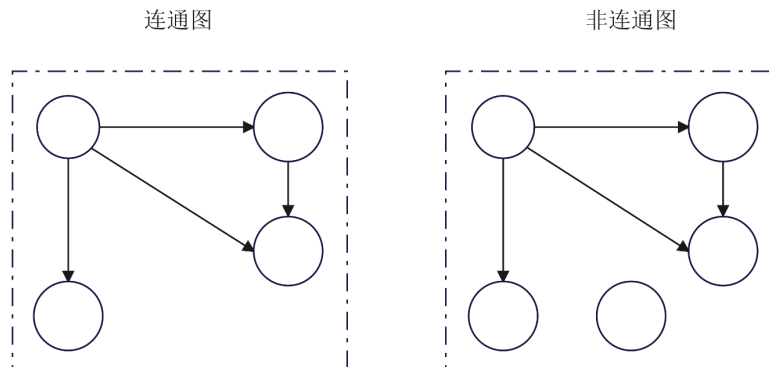


Figure 3. Connected graph
图 3. 连通图

4.2. 抢修保障要素状态分析

完整的状态分析体系包括状态分类、状态转变机制、动作分类及处置措施逻辑四个层面[7]，共同构成知识图谱模式层的核心内容。

(1) 保障要素状态分类

基于民用机场抢修场景的特殊性，保障要素的状态空间划分为正常状态、风险模糊状态、风险明确状态及限制运行状态四种类型，其分类结构如图4所示。

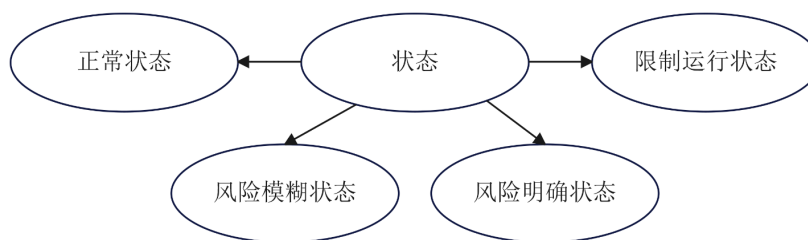


Figure 4. State classification structure of emergency repair support elements
图4. 抢修保障要素状态分类结构

(2) 状态转变机制

抢修保障要素的状态转变是一个动态过程，由外部事件触发并遵循特定的转移规则。状态转变机制如图5所示。

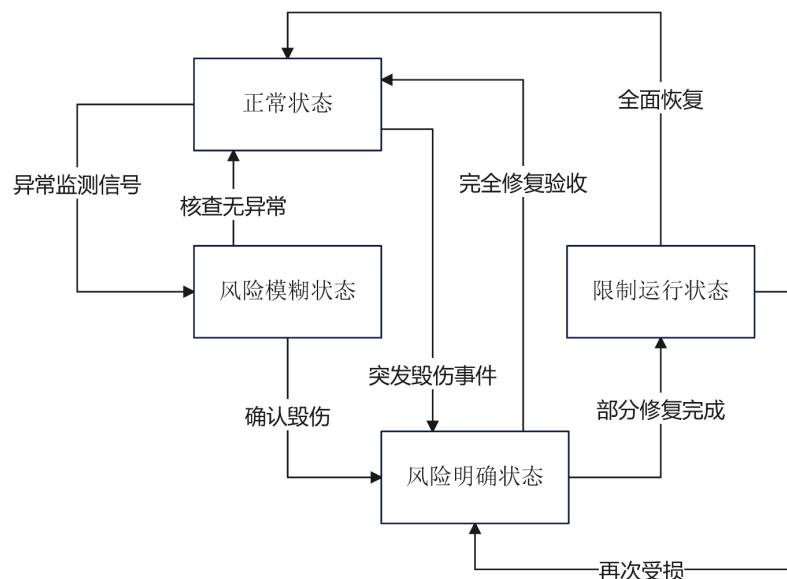


Figure 5. State transition mechanism of emergency repair support elements
图5. 抢修保障要素状态转变机制

(3) 处置动作分类

处置动作是状态转变过程中执行的具体操作，是连接状态识别与状态恢复的桥梁。如图6所示。

(4) 处置措施构成

处置措施是由多个处置动作按照特定逻辑组合而成的完整方案，是知识图谱推理输出的核心内容。处置措施的构成结构如图7所示。

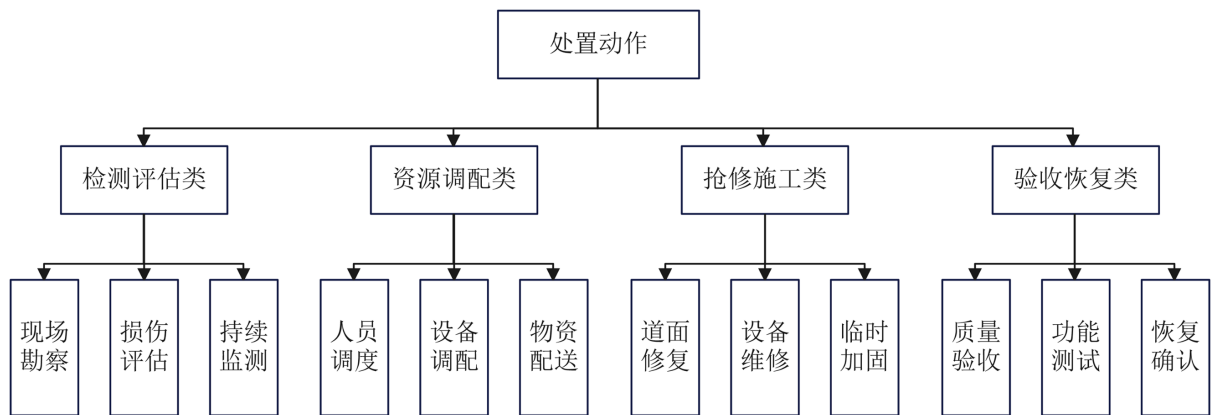


Figure 6. Classification system of airport emergency repair and disposal actions

图 6. 机场抢修处置动作分类体系

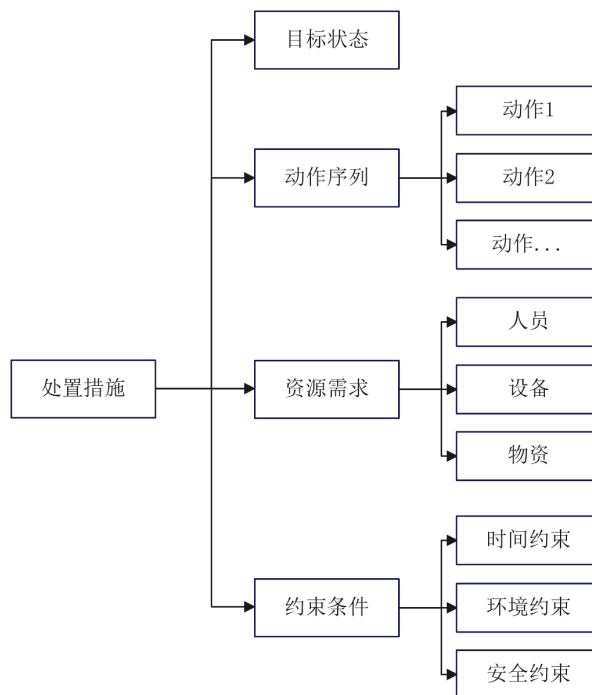


Figure 7. Structure of emergency repair measures

图 7. 抢修处置措施构成结构

(5) 处置措施底层逻辑

处置措施的生成与执行遵循特定的底层逻辑，该逻辑描述了从状态识别到措施执行的完整推理过程。处置措施的底层逻辑框架如图 8 所示。

(6) 处置流程基本逻辑

处置流程是处置措施在时间维度上的展开，描述了从状态异常发现到状态恢复完成的完整过程。处置流程的基本逻辑如图 9 所示。

(7) 状态分析与知识图谱构建的关联

上述状态分析体系为知识图谱的模式层设计提供了完整的理论框架。各组成部分与图谱本体的对应关系如表 7 所示。

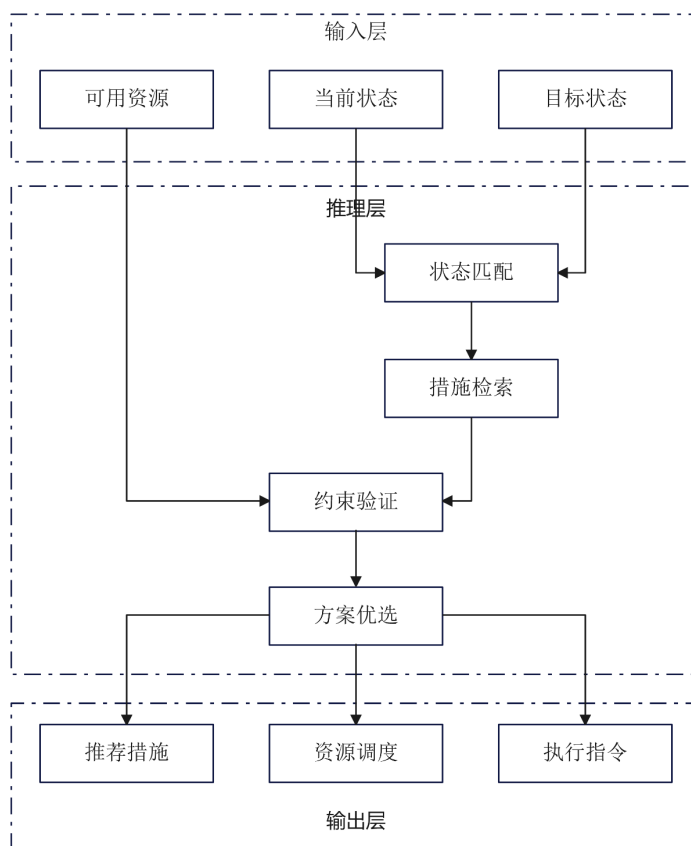


Figure 8. Underlying logical framework for generation of disposal measures
图 8. 处置措施生成底层逻辑框架

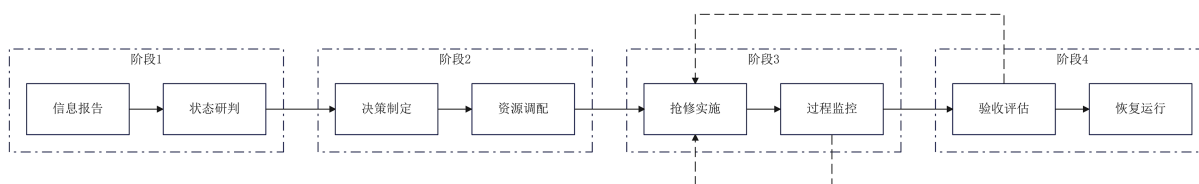


Figure 9. Basic logic of emergency repair disposal process
图 9. 抢修处置流程基本逻辑

Table 7. Mapping table of state analysis elements and knowledge map ontology
表 7. 状态分析要素与知识图谱本体映射表

状态分析要素	图谱实体类型	图谱关系类型	图谱属性
状态分类	状态实体	-	状态名称、状态编码、状态描述
状态转变机制	-	状态转移关系	触发事件、转移条件、转移优先级
处置动作分类	动作实体	-	动作名称、动作类型、执行时长
处置措施构成	措施实体	包含关系	目标状态、资源需求、约束条件
处置措施底层逻辑	推理规则	触发关系	规则条件、规则结论、规则优先级
处置流程基本逻辑	流程实体	顺序关系	流程阶段、阶段任务、阶段输出

5. 民用机场抢修应急处置知识图谱构建方法

5.1. 基于知识图谱的民用机场抢修应急处置表达方法

(1) 知识实体的确定

知识实体是知识图谱的基本组成单元，是对领域中具体概念的抽象表示。本研究通过梳理抢修业务流程、分析应急预案文档、访谈领域专家，最终确定六类核心知识实体，如表 8 所示。

Table 8. Classification of civil airport emergency repair knowledge entities

表 8. 民用机场抢修知识实体分类表

实体类别	典型实体示例	描述说明
人员类实体	指挥员、工程人员、技术人员、保障人员	参与抢修作业的各类人员角色
设备类实体	跑道、滑行道、停机坪、抢修装备、机械设备	抢修对象及相关装备设施
环境类实体	气象条件、地理环境	影响抢修作业的外部环境因素
管理类实体	应急响应等级、特殊保障模式	抢修组织管理的规范要素
状态类实体	正常状态、损毁状态、修复中状态、恢复状态	描述对象状态变化的阶段标识
动作类实体	侦察评估、资源调配、施工抢修、验收恢复	抢修作业的具体行动步骤

(2) 实体间关系的确定

知识实体间关系是有向连接，根据关系的方向可以分为源实体和目标实体。本节以源实体的视角介绍六类知识实体间的关系定义，如表 9 所示。

Table 9. Classification of entity relationship of civil airport emergency repair knowledge

表 9. 民用机场抢修知识实体关系分类表

源实体类别	关系类型	目标实体类别	关系说明
人员类	协作人员	人员类	人员之间的协作配合关系
	负责设备	设备类	人员负责管理或操作的设备
	相关动作	动作类	人员在应急处置中执行的动作
设备类	负责人员	人员类	负责设备管理或维修的人员
	关联设备	设备类	设备之间的功能关联关系
	可能状态	状态类	设备可能呈现的状态
环境类	监控设备	设备类	监控环境变化的设备
	可能状态	状态类	环境可能呈现的状态
管理类	相关人员	人员类	参与管理决策的人员
	可能状态	状态类	管理模式可能呈现的状态
状态类	原始状态	状态类	状态转移前的源状态
	迁移状态	状态类	状态转移后的目标状态

续表

动作类	处置动作	动作类	该状态下需要执行的处置动作
	关联状态	状态类	与其他要素状态的关联关系
	发布人员	人员类	发布或执行动作的人员
	针对人员	人员类	动作针对的目标人员
	针对设备	设备类	动作针对的目标设备
	依赖动作	动作类	动作之间的先后依赖关系

(3) 应急处置知识图谱模式层的构建

在实体类型以及实体关系类型确定后，即可构建知识图谱模式层。模式层是知识图谱的语义框架，用于定义本体结构和约束规则，为数据层的知识存储提供统一标准，具体架构如图 10 所示。

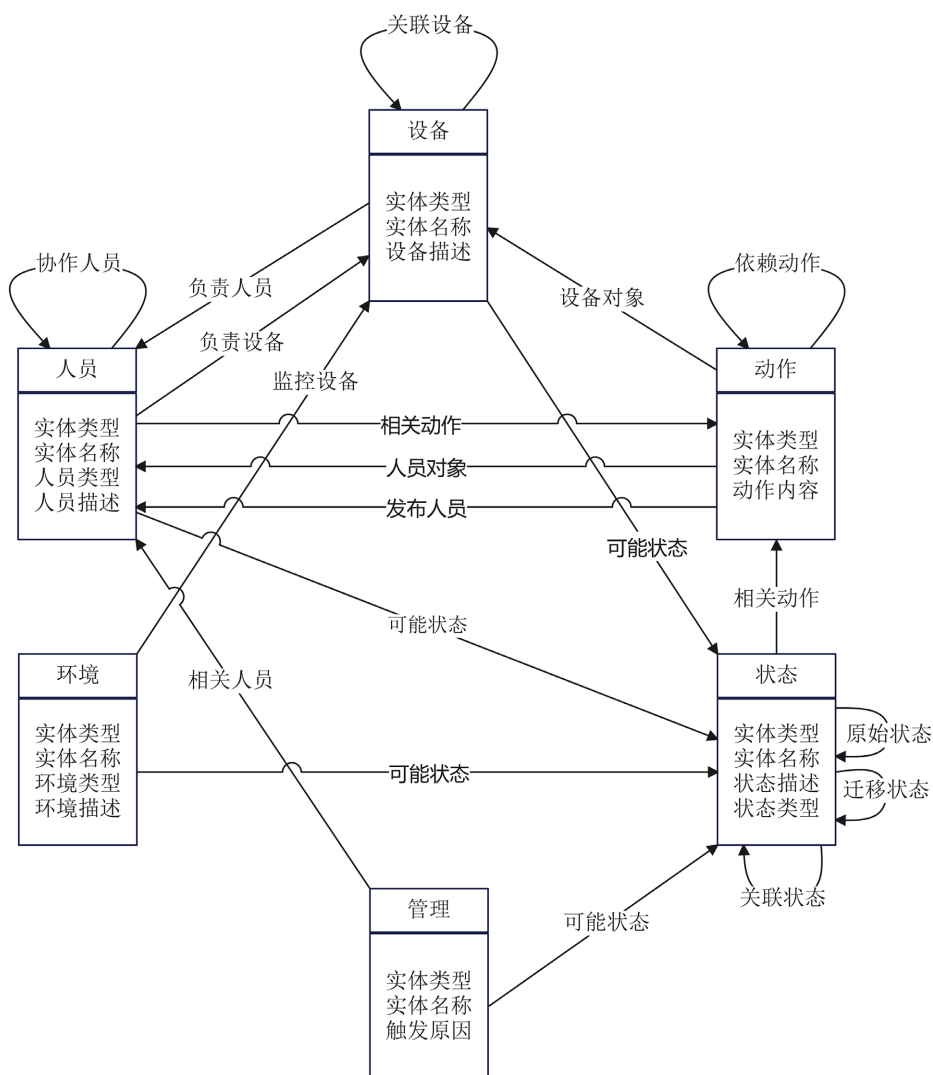


Figure 10. Knowledge map mode layer
图 10. 知识图谱模式层

为便于计算机处理和知识推理，需要对模式层进行形式化定义。本研究采用资源描述框架(Resource Description Framework, RDF)对本体模型进行描述，形式化定义如下：

应急处置知识图谱本体可表示为一个五元组 $Onto = \{E, R, A, C, H\}$ ，其中：

E 表示实体集合， $E = \{E_{persn}, E_{equip}, E_{env}, E_{mgmt}, E_{state}, E_{action}\}$ ，分别对应人员类、设备类、环境类、管理类、状态类和动作类实体；

R 表示关系集合， $R = \{r_1, r_2, \dots, r_{18}\}$ ，包含前文定义的 18 种实体关系；

A 表示属性集合，描述实体和关系的特征属性；

C 表示约束集合，定义实体和关系的约束条件；

H 表示层次结构，描述实体类之间的继承关系。

基于上述定义，民用机场抢修应急处置知识图谱的本体模型可形式化表示为：

$$Onto_{repair} = \{E_{repair}, R_{repair}, A_{repair}, C_{repair}, H_{repair}\}$$

(4) 约束规则的制定

约束规则是模式层的重要组成部分，用于保证知识图谱的语义一致性和逻辑正确性。约束规则采用产生式规则进行表示，形式如下：

$$Rule: IF \text{ Condition THEN Constraint}$$

5.2. 知识存储方法

完成知识图谱模式层设计后，需选择合适的存储引擎实现知识的持久化管理[9]。知识图谱存储方式主要分为基于表结构存储和基于图结构存储两大类，具体分类如图 11 所示。

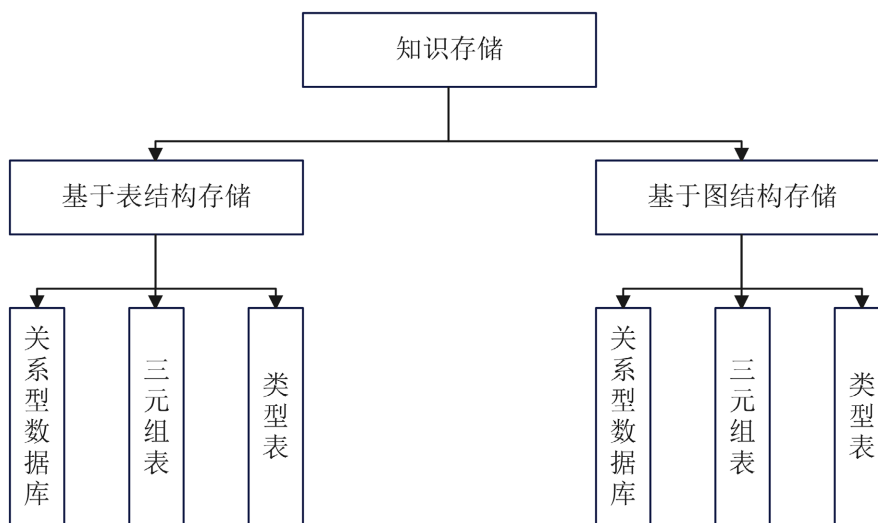


Figure 11. Classification of knowledge storage methods

图 11. 知识存储方法分类

5.3. 抢修知识提取方法

知识存储结构确定后，需要从多源异构数据中提取知识并填入存储模型。针对不同类型数据的特征，本研究采用分类抽取策略，总体框架如图 12 所示。

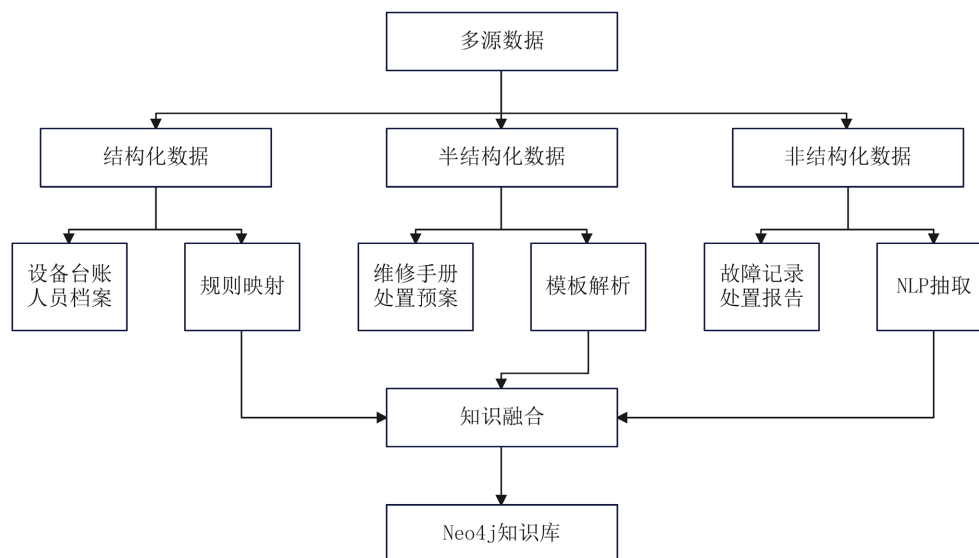


Figure 12. Emergency repair knowledge extraction framework

图 12. 抢修知识抽取框架

5.4. 知识检索方法

知识检索是知识图谱应用价值的核心体现，其性能直接影响辅助决策系统的响应速度和决策质量。

(1) 抢修保障要素的相关状态搜索

抢修保障要素状态搜索用于快速获取跑道、设备等关键保障要素的当前状态、历史状态及状态转移路径。抢修保障要素相关状态搜索伪代码如表 10 所示。

Table 10. Relevant status search pseudo code of emergency repair support elements

表 10. 抢修保障要素相关状态搜索伪代码

Output: 抢修保障要素相关状态

- 1) 登录 neo4j，并选择库
- 2) 查询抢修保障要素 MATCH(Element:保障要素类型)RETURN Element
- 3) 从返回列表中选择抢修保障要素，获取其唯一属性值
- 4) 查询选定的抢修保障要素状态 MATCH(Element:保障要素类型{属性:"属性值"})-[相关状态]->(State:状态)RETURN Element,State

(2) 处置措施检索

处置措施检索是辅助决策系统的核心功能，用于根据当前抢修态势和约束条件推荐合适的处置方案。处置措施检索的知识图谱结构如表 11 所示。

基于 Neo4j 的 Cypher 查询语言，设计标准化的措施检索查询模板，通过 MATCH 语句匹配多类型实体节点及关联关系，返回推荐措施、预计时长、资源需求、人员配置及约束条件等信息。处置措施检索伪代码如表 12 所示。

(3) 关联人员搜索

关联人员搜索支持任务关联检索、设备关联检索和协作关系检索三个维度的查询。查询语句通过 MATCH 语句匹配 Person 节点与 Action 节点的“相关动作”关系、与 Equipment 节点的“负责设备”关

系，以及 Person 节点之间的“协作人员”关系，返回人员名称、岗位编码、专业资质、可用状态、联系方式及核心职能等信息。关联人员搜索伪代码如表 13 所示。

Table 11. Structure of knowledge map for retrieval of disposal measures
表 11. 处置措施检索知识图谱结构

实体类型	属性示例	关系类型	关系示例
状态(State)	状态名称、严重程度	处置动作→	坑面损毁→未知隐患处置
动作(Action)	动作名称、执行时长	依赖动作→	道面板铺设→坑面清理
设备(Equipment)	设备名称、可用数量	针对设备→	未知隐患处置→探测器
人员(Person)	岗位名称、专业资质	发布人员→	坑面清理→工程抢修队
资源(Resource)	资源名称、库存数量	消耗资源→	道面板铺设→快速道面板
约束(Constraint)	约束类型、限制条件	满足约束→	技术验收→安全标准

Table 12. Disposal measures retrieval pseudo code
表 12. 处置措施检索伪代码

Output: 推荐处置措施列表 sortedactions
1) Input: 当前状态 Scurr, 约束条件 Cconstraints
2) 登录 neo4j, 并选择库
3) 匹配关联动作 MATCH(State:状态{名称:Scurr})-[:处置动作]->(Action:动作)
4) 验证前置依赖 OPTIONAL MATCH(Action)-[:依赖动作]->(PreAction)
5) 过滤未完成依赖 WHERE PreAction IS NULL OR PreAction.status='已完成'
6) 验证设备可用 MATCH(Action)-[:针对设备]->(Equip:设备)WHERE Equip.available>0
7) 验证人员可用 MATCH(Action)-[:发布人员]->(Person:人员)WHERE Person.available=true
8) 验证资源充足 MATCH(Action)-[:消耗资源]->(Res:资源)WHERE Res.stock>=Action.neednum
9) 验证约束满足 MATCH(Action)-[:满足约束]->(Con:约束)WHERE Con.type IN Cconstraints
10) 计算优先级评分 RETURN Action, Action.success_rate AS score
11) 排序输出 RETURN Action ORDER BY score DESC LIMIT5

Table 13. Associated person search pseudo code
表 13. 关联人员搜索伪代码

Output: 关联人员信息列表
1) 输入查询维度 Type(任务/设备/人员)
2) 匹配人员节点 MATCH(p:Person)
3) 根据维度匹配关系 MATCH(p)-[:相关动作 负责设备 协作人员]->(Target)
4) 筛选可用状态 WHERE p.available=true
5) 返回人员详细信息 RETURN p.name, p.role, p.qualifications

例如：查询道面板铺设任务关联的抢修人员，结果如图 13 所示。

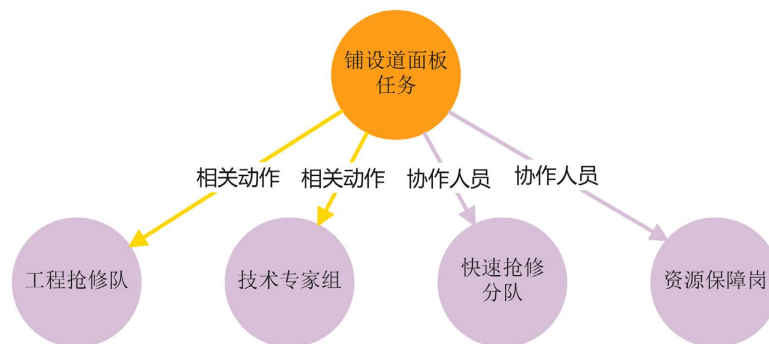


Figure 13. Related personnel of laying task
图 13. 铺设任务关联人员

6. 结论

本文围绕民用机场道面突发损毁的应急处置难题，构建了基于知识图谱的辅助决策框架。研究基于有限状态机理论，完成了对人员、设备、环境及管理等多维抢修要素的状态演变逻辑建模，并设计了包含实体、关系及约束规则的图谱模式层。该成果实现了抢修领域知识的结构化表达与逻辑关联，为后续应急处置方案的快速检索与生成奠定了理论与数据基础。

面向未来，本研究将从两方面深化：一是决策模型智能化增强，拟引入不确定性推理(如贝叶斯网络/模糊逻辑)与多目标优化(如 AHP-TOPSIS)，在更大样本下建立风险量化与方案优选的可解释排序模型；二是知识图谱动态演化机制建设，设计半自动抽取与专家复核 workflow，实现处置案例驱动的规则挖掘与知识版本化更新，提升系统自适应能力。

参考文献

- [1] Zou, X. (2020) A Survey on Application of Knowledge Graph. *Journal of Physics: Conference Series*, **1487**, Article 012016. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1487/1/012016>
- [2] 刘焯宸, 李华昱. 领域知识图谱研究综述[J]. *计算机系统应用*, 2020, 29(6): 1-12.
- [3] 朱冬亮, 文奕, 万子琛. 基于知识图谱的推荐系统研究综述[J]. *数据分析与知识发现*, 2021, 5(12): 1-13.
- [4] 杜君磊. 基于知识图谱的学习资源推荐系统的设计与实现[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京交通大学, 2022.
- [5] 贾李蓉, 刘静, 于彤, 等. 中医药知识图谱构建[J]. *医学信息学杂志*, 2015, 36(8): 51-53, 59.
- [6] 张文浩. 作物病害知识图谱构建研究[D]: [硕士学位论文]. 保定: 河北农业大学, 2023.
- [7] 张丁荣, 王恪铭, 冯心妍. 基于知识图谱和故障树的高速铁路事故致因分析[J]. *铁路计算机应用*, 2023, 32(7): 14-18.
- [8] 彭晓琳, 王晓勇, 杨志文, 等. 民航应急管理体系发展分析与实践探索[J]. *民航学报*, 2025, 9(1): 24-29.
- [9] 吴国栋, 王雪妮, 刘玉良. 知识图谱增强的图神经网络推荐研究进展[J]. *计算机工程与应用*, 2023, 59(4): 18-29.