文章编号：2097-5899(2025)08-0054-08　　**中图分类号**：U294.5　　**文献标识码**：A
DOI：10.16669/j.cnki.issn.2097-5899.20241113002
引用格式：宁健，黄宝静．基于贝叶斯网络的铁路货场包件区装卸作业安全风险评估研究[J]．铁路物流，2025，43(8)：54-61.
NING Jian，HUANG Baojing. Safety Risk Assessment of Loading and Unloading Operations in Railway Freight Yard Package Areas Based on Bayesian Networks[J]. Railway Logistics，2025，43(8)：54-61.

基于贝叶斯网络的铁路货场包件区装卸作业安全风险评估研究

宁　健，黄宝静

(中国铁道科学研究院集团有限公司 运输及经济研究所，北京　100081)

摘　要：为有效评估铁路货场包件区装卸作业安全风险，提出基于贝叶斯网络的风险评估方法。根据铁路货场包件区作业安全防护现状，在解析包件区棚车作业流程的基础上，总结出货物在铁路货场装车承运和卸车交付2大环节共6个风险场景的26个风险项点，建立风险评估指标体系。通过梳理指标之间的因果联系和规律性，构建贝叶斯网络结构，计算根节点和中间节点的概率，对风险评估模型进行双向推理，获得叶节点发生概率与根节点的后验概率，逆向推理出关键的风险影响因素。通过实例仿真，得出某铁路货场包件区作业安全总体风险概率为5.12%，可能导致事故发生的关键风险要素为装车员疲劳驾驶、载具维护不当、货物装车撒漏等，为主动防范化解铁路货场包件区装卸作业安全风险提供参考。

关键词：铁路货场；装卸作业安全；风险评估；贝叶斯网络；仿真分析

0　引言

《交通强国建设纲要》(中发〔2019〕39号)明确提出，构建安全、便捷、高效、绿色、经济的现代化综合交通体系，健全预防与控制体系，切实防范和化解系统性风险。围绕此目标，中国国家铁路集团有限公司(以下简称“国铁集团”)出台了《关于铁路现代物流体系建设的意见》(铁办〔2023〕97号)，明确提出要完善铁路货运安全信息管理应用，构建货运数字化安全信息库、问题库和事故库，开展货运安全风险的主动识别和预警分析。铁路货场作为铁路货运的重要承载体，包件区的装卸作业作为铁路货运的重要环节，涉及大量的货物搬运、机械设备操作及人员协调，亟需加强对其安全风险的评估与防控，有必要研究铁路货场包件区装卸作业安全风险并进行科学评估与主动预防，以有效提升铁路货运场站安全生产作业水平，为铁路货运安全风险主动识别和预警分析体系的构建提供技术支撑。

在铁路货运生产作业的研究中，国内外学者普遍关注如何从系统性和技术性的角度提升安全水平。庄河[1]提出推动铁路货运的优质发展，需从改善运输网络、加强多式联运协调性、强化安全管理等多个方面入手。董晖[2]针对铁路货运信息化进程缓慢的问题，提出构建一个集成生产管理、安全控制及决策支持的综合平台，旨在提升货运管理效率、准确性，推动铁路货运整体信息化水平的提升。在物流设施设备管理方面，叶飞等[3]提出，为了提高铁路货运站的工作效率和安全性，应采取统一的管理方法，集中资源与职能，实现信息和任务的协同配合，从而优化设施设备的管理

收稿日期：2024-11-13
通信作者：黄宝静(1986—)，男，江西上饶人，中国铁道科学研究院集团有限公司运输及经济研究所高级工程师。
基金项目：中国国家铁路集团有限公司科技研究开发计划课题(RD2024Y007)；中国铁道科学研究院集团有限公司科研项目(2024YJ233)；陕西省重点研发计划项目(2024GX-YBXM-536)

和运作，确保货运站日常运营的顺畅和安全。此外，铁路货运场站的安全防护建设同样引起了研究者的关注。唐浩等[4-5]从“双重预防机制”出发，针对货运场站在安全管理方面存在的不足，提出了一种基于智能技术的安全防护方案，通过对场站潜在风险场景进行结构化分析，并逐步实施分级防护措施，力图将目前的安全管理方式从被动响应转变为更加主动的防护模式。黄兴建等[6]提出一种基于动态模糊理论的铁路货运安全评估方法，该方法通过构建一套动态变化的评价指标体系，实现对铁路货运安全等级的分类，能够清晰展示出不同因素对安全的影响，有助于为风险防控措施的制定提供数据支持。与此同时，铁路货运安全风险的评估与防控逐渐成为研究重点，尤其是在装卸作业环节。刘文彬等[7]研究极端气候和设备故障对铁路装卸作业的影响，提出相应的安全措施。郭赫臣等[8]应用失效模式与影响分析(FMEA)方法，系统地对货场内潜在的安全隐患与风险进行了分析与识别。高海鹏等[9]分析叉车作业的风险因素，并提出预防措施。黄志宏[10]分析装卸作业中安全管理的不足，并建议通过制度建设和培训提高安全水平。综上所述，国内外关于铁路货运安全的研究大多聚焦于整体安全管理或单一环节的风险分析，针对铁路货场作业功能区的安全风险评估的研究较少。

本研究在解析铁路货场包件区棚车作业流程的基础上，总结出装车承运与卸车交付2大环节中6类风险场景与26个风险项点，并建立起风险评估指标体系，通过梳理指标之间的因果联系和规律性，构建贝叶斯网络结构并运用数学软件计算出各节点条件概率，继而通过贝叶斯网络仿真软件对铁路货场装卸作业安全风险评估贝叶斯网络模型进行双向推理，获得安全风险发生概率与指标要素的后验概率，逆向推理出关键风险影响因素，为铁路货场包件区棚车装卸作业安全能力建设提供参考。

1　指标体系构建

通过研究铁路货场包件区棚车作业流程，基于“作业环节－风险场景－风险项点”结构，分析货场包件区装卸作业中的风险场景与潜在风险因素，为构建铁路货场包件区装卸作业安全评估体系和防范措施提供理论依据。

1.1　铁路货运场站安全风险分析

2018—2020年，全路货运场站共发生58起货运安全责任事故，其中2018年13起，2019年17起，2020年28起。根据不同作业环节，事故分布如下。装车环节11起，卸车环节22起，监装卸过程18起，站内走行5起，进出站门1起，其他类型事故1起。可以看出，货运场站的安全责任事故主要集中在装卸作业和监装卸环节。其中，包件区装卸作业与其他区域有所不同，涉及更多的人员协调、设备操作和多样化的货物类型。因此，对铁路货场包件区的装卸作业安全风险进行系统评估显得尤为重要。

近年来，全路针对安全风险防范化解采取诸多举措并取得一定成效。铁路货运计量安全检测监控系统目前已在铁路局集团公司、编组站和货运站轨道衡三级联网应用；铁路货检安全监控与管理系统已在货检站联网应用。在铁路货运管理中，安全监控系统能够进行分层级的数据管理，确保站内各部门及与上级平台之间的信息流畅传递。该系统通过一体化的数据交换平台，支持远程传送信息至各监控站点，并及时获取上级平台发送的操作和数据更新。铁路货运领域的安全管理系统主要专注于运输过程中的车辆安全和作业后的安全监控，但在预防性措施方面，特别是对站内操作人员及移动设施的保护仍显不足。铁路货运场站的安全管理机制往往依赖于现有规章的执行，现场作业的风险防控和决策过程仍主要依赖人工和经验主导，无法及时反映作业状态，难以实时有效地解决包件区货运作业过程中暴露出来的问题。

面对铁路货运量持续增长与劳动力结构性短缺的矛盾，铁路货运生产安全面临越来越复杂的压力。本研究通过梳理现阶段铁路货运的安全防护措施，分析货场内安全事故的产生原因及潜在风险，基于包件区装卸作业流程总结风险场景与风险项点，建立风险评估指标体系。

1.2　评估指标体系建立

从铁路货场包件区货物装卸作业环节来看，安全风险主要体现在装车承运与卸车交付2个环节，本研究归纳出6类风险场景、26个风险项点，构建铁路货场包件区装卸作业安全风险评估指标体系如表1所示。建立铁路货场包件区装卸作业安全风险评估指标体系，可以对作业中的各类风险进行科学识别和精准评估，进而优化作业流程，降低事故发生率，保障货运安全高效进行。

2　模型构建

对铁路包件区装卸作业安全风险场景与项点数据进行标准化处理，设计贝叶斯网络程序，建立各节点即关键指标间关系结构并计算各节点条件概率，构建基于贝叶斯网络仿真软件的关键指标网络结构图并代

表1　铁路货场包件区装卸作业安全风险评估指标体系

Tab.1　Safety risk assessment indicator system for loading and unloading operations in railway freight yards

风险环节	风险场景	风险项点
A1装车承运环节	R1人因风险	P1安检查危疏忽
		P2人员专业技能培训不足(装车)
		P3装车员疲劳驾驶
		P4装车三检疏忽
		P5载具维护不当
		P6库内管理疏忽
	R2操作风险	P7货物装车撒漏
		P8列车对位超限
		P9装车操作失误
		P10货物装载不到位
		P11货物码垛不齐
	R3碰撞风险	P12站内走行碰撞
		P13站台装车碰撞
		P14库内搬运碰撞
A2卸车交付环节	R4人因风险	P15 作业人员间沟通不畅
		P16人员专业技能培训不足(卸车)
		P17卸车员疲劳驾驶
		P18卸车三检疏忽
		P19载具维护不当
		P20库内管理疏忽
	R5操作风险	P21列车对位超限
		P22卸车操作失误
		P23货物码垛不齐
	R6碰撞风险	P24站内走行碰撞
		P25站台卸车碰撞
		P26库内搬运碰撞

入各节点条件概率计算指标各状态综合概率，为铁路包件区装卸作业安全风险评估提供支撑。

2.1　贝叶斯网络模型建立

铁路货场包件区装卸作业中的风险因素是相互作用的，贝叶斯网络无需满足严格的统计假设，如线性关系或加法性条件，同时可以更清晰地揭示各项指标之间的相互依赖性。贝叶斯网络特别适合处理高维度的变量，且当变量之间具有交互效应时，能够有效识别其中的关键因素。如根据部分风险要素的先验概率分布，贝叶斯网络就能够通过已观察到的节点信息将风险信息传播至网络中的其他节点，然后计算出其他未观测到的风险因素的后验概率[11-12]。

在贝叶斯网络模型的构建主要包括3个阶段。阶段1，确定各个风险因素对应的节点变量；阶段2，设计网络的结构框架；阶段3，对各个节点的参数进行设定和调整。首先，定义风险因素：风险场景包括6类，风险项点包括26项，如表1所示。其次，设计贝叶斯网络模型的框架结构，通过网状图中的连接线呈现各个风险要素的依赖关系；计算安全风险评估模型各节点间的概率分布，从而构建铁路货场包件区装卸作业风险贝叶斯网络模型。最后，确定贝叶斯网络参数，本研究对风险因素的条件概率通过对数据学习分析得出，即根节点的先验概率与次节点的条件概率通过运行程序计算。研究中涉及的数据主要来源于现场实地调研和文献检索。铁路货场包件区装卸安全风险评估模型构建思路如图1所示。

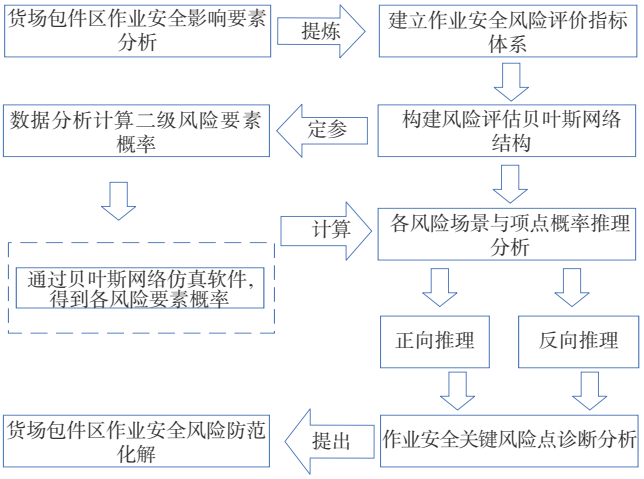


图1　铁路货场包件区装卸安全风险评估模型构建思路

Fig.1　Construction approach for the safety sisk assessment model of loading and unloading in railway freight yard package areas

2.2　结构模型计算与验证

基于所构造的贝叶斯网络，使用贝叶斯网络仿真软件对包件区装卸作业安全风险评估进行定量分析。条件概率与后验概率计算公式为

$$P(A|B)=P(AB)/P(B) \tag{1}$$

式中：$P(A|B)$)为条件概率，即事件B发生的条件下事件A发生的概率；$P(AB)$为事件A与事件B同时发生的联合概率；$P(B)$为事件B发生的概率，$P(B)>0$。

$$P(B_i|A)=\frac{P(A|B_i)P(B_i)}{P(A)}=\frac{P(A|B_i)P(B_i)}{\sum_{i=1}^{n}P(B_i)P(A|B_i)} \tag{2}$$

式中：$P(B_i|A)$为事件A发生后事件B_i发生的后验概率；$P(A|B_i)$为事件B_i发生时事件A发生的似然度；$P(B_i)$为事件B_i发生的先验概率，$P(B)>0$；$P(A)$为事件A发生的全概率，通过全概率公式计算其联合概率并求和。

风险评估的贝叶斯公式为

$$P(X_i=1|T=2)=\frac{P(X_i)P(T=2|X_i=1)}{\sum_{i=1}^{n}[P(T=2|X_i=1)P(X_i)]} \tag{3}$$

式中：$P(X_i=1|T=2)$为后验概率；X_i为铁路货场包件区风险场景与风险项点，“风险不发生”为1，“风险发生”为2；$T=1$为货场包件区未发生安全事故；$T=2$为货场包件区发生安全事故；$P(X_i)$为风险节点的先验概率；$P(T=2|X_i=1)$为$X_i=1$时$T=2$的条件概率。

由于铁路货场包件区作业安全风险评估所构建的贝叶斯网络模型规模较大且结构复杂，因此选用马尔科夫链蒙特卡洛算法进行概率推理计算，并完成贝叶斯网络节点概率推理过程。在进行风险评估时，由于评估指标并不完全覆盖风险因素，潜在的一些风险可能会被忽略，因而本研究采用一种改进贝叶斯模型(Leaky Noisy-or Gate)理论来确定条件概率表。假设节点Z有2个父节点X_L和X_{all}，X_L为包含所有不确定风险因素的综合要素，X_{all}则涵盖其他所有已知因素。P_i和P_{all}分别为X_L和X_{all}的连接概率，则有P_i为

$$P_i=\frac{P(Y|X_L)-P(Y|X)}{1-P(Y|X)} \tag{4}$$

式中：P_i为衡量某种条件概率下事件发生的指标；$P(Y|X_L)$为在X_L条件下事件Y发生的条件概率；$P(Y|X)$为在X条件下事件Y发生的条件概率。

公式(4)用于计算节点Y与各个风险节点间的连接概率，通过引入X_L这一不确定合成因素，可以进一步得到在不确定条件下，节点Z的修正概率或调整后的条件概率为

$$P(Y|(X_i,X_L))=1-(1-P_L)=P_L \tag{5}$$

式中：$P(Y|(X_i,X_L))$为X_i，X_L同时发生条件下事件Y发生的条件概率；P_L为与X_L相关的基础概率。

将上述计算出的风险节点条件概率分别代入铁路货场包件区装卸作业风险评估贝叶斯网络结构图节点中，计算得到基于贝叶斯网络的风险要素的概率值；再通过贝叶斯网络仿真软件基于概率推理的数据学习得到风险场景与风险项点的条件概率，继而刻画出铁路货场包件区装卸作业安全风险评估网络。

3　实证研究

3.1　某货场安全风险情况分析

2021—2023年某货场发生的作业安全责任事故共9起，2021年2起，2022年3起，2023年4起，总体呈上升趋势；将事故进行分类，其中站内走行、进出站门、监装卸环节分别发生了1起事故，而在装车和卸车环节分别发生了3起事故。因此，本研究的实证分析主要集中在装车承运与卸车交付作业环节的安全风险评估，通过构建铁路货场包件区装卸作业安全风险评估模型，使用贝叶斯网络仿真软件，评估货场包件区装卸作业安全的整体风险概率，并基于此分析结果提出有效的风险防控与应对策略。

3.2　装车承运及卸车交付环节风险评估

基于铁路货场包件区作业安全风险评估指标体系，运用贝叶斯网络结构表示装车环节各项风险场景与风险项点之间的关系，使用数学软件进行数据处理，计算各节点的条件概率，并将处理结果输入贝叶斯网络仿真软件，得出每个节点各状态发生概率，使各风险要素之间的关系更加系统、直观地表现出来。装车环节安全风险评估贝叶斯网络结构如图2所示。图中：F代表未发生风险；T代表发生安全事故；数据单位为%，下同。

由图2可得，装车环节碰撞风险概率最高，为8.27%；其次为操作与人因风险。碰撞风险中，发生P13站台装车碰撞的概率最大，为7.02%；这是指货场包件区叉车间或叉车与停靠在股道上的列车间的碰撞；在作业中应重点关注装车作业规范。操作风险中，P7货物装车撒漏概率最大，为6.35%；货物撒漏可能对作业安全环境产生威胁，如自燃等；应重点关注货物装载整齐与封装完好，注意操作规范。人因风险中，P5载具维护不当与P3装车员疲劳驾驶对安全威胁较大，为7.36%和6.02%；货场运输装载工具的安全隐患及装车员疲劳导致的操作不规范可能在作业中引发事故；货场管理者应加强维护与监管。

同理可得，卸车环节安全风险评估贝叶斯网络结构如图3所示。由图3可得，卸车环节人因风险概率最高，为6.55%，其次为操作与碰撞风险。人因风险中，P17卸车员疲劳驾驶的概率最大，为5.03%；货场管理者应加强维护与监管。操作风险中，P23货物码垛不齐对安全威胁最大，为6.71%；货物码垛不齐可能导致坍塌，危及作业人员安全甚至造成严重人身伤害；应关注货物装载整齐与人员操作规范。碰撞风险中，P25站

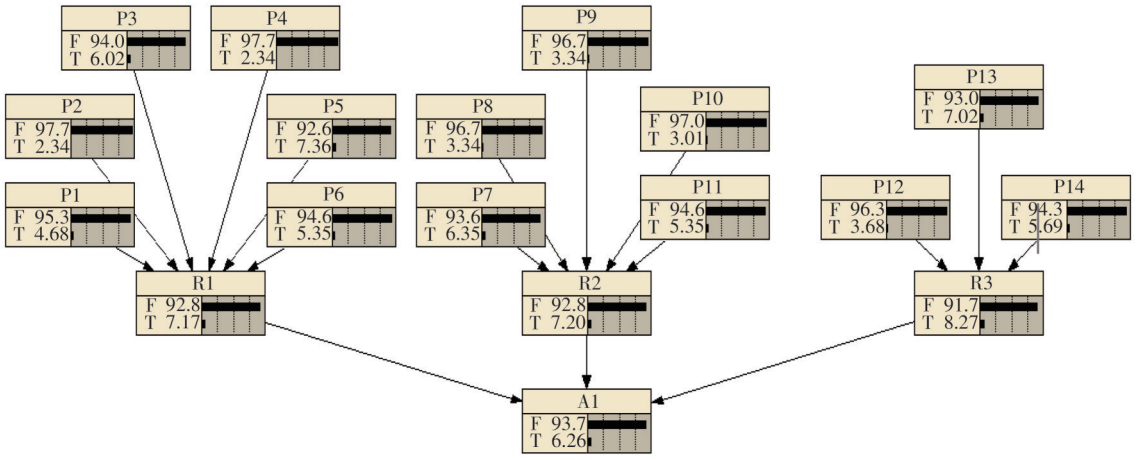


图2　装车环节安全风险评估贝叶斯网络结构

Fig.2　Bayesian network structure for safety risk assessment in the loading stage

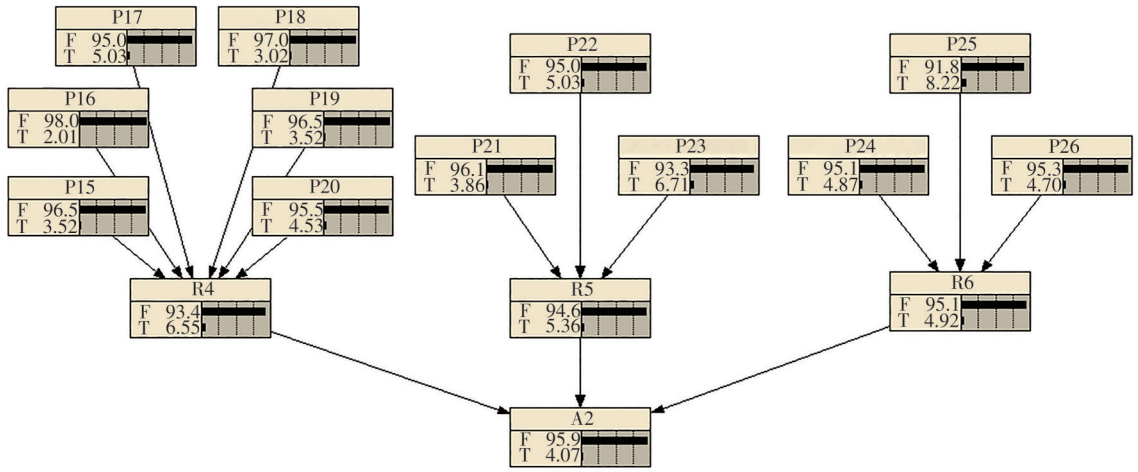


图3　卸车环节安全风险评估贝叶斯网络结构

Fig.3　Safety risk assessment of the unloading process using Bayesian network structure.

台卸车碰撞风险概率较大，为8.22%；这是指货场叉车间或叉车与停靠在股道上的列车间的碰撞；在作业中应重点关注卸车操作规范。

3.3　作业安全风险评估结果

在贝叶斯网络仿真软件中代入经处理的标准化数据进行数据学习与分析，得出货场包件区装卸作业安全总体风险概率为5.12%。结果表明，在当前条件下铁路货场包件区装卸作业过程中发生安全事故的可能性较低，整体风险水平处于可控范围内，但仍存在改进空间。具体到作业环节，装车与卸车环节的安全风险发生概率分别为9.63%与8.22%，高于整体风险概率，需要特别关注。在装车和卸车环节中，碰撞风险威胁最大，发生概率分别为13.9%与11.4%。继而深入推导至风险项点层面，可能导致事故发生的关键要素为P3装车员疲劳驾驶、P5载具维护不当、P7货物装车撒漏、P13站台装车碰撞、P23货物码垛不齐、P25站台卸车碰撞。货场包件区装卸作业安全总体风险概率如图4所示。

运用贝叶斯网络仿真软件，逆向推理贝叶斯网络。假设在包件区发生1起安全事故，可计算出关键风险要素的后验概率，假设事故发生的风险要素后验概率如图5所示。由图5可得，若事故已发生，最可能是由于装车与卸车环节的碰撞风险所导致；关键风险项点包括P3装车员疲劳驾驶、P5载具维护不当、P13站台装车碰撞、P23货物码垛不齐、P25站台卸车碰撞等；由此，铁路货场包件区装卸作业安全风险的防范与化解，应重点关注这些关键风险要素。

3.4　作业安全风险防范化解

从研究结果看，风险防范与化解应重点关注铁路货场包件区装卸设备状态维护、人车货位置监控、碰

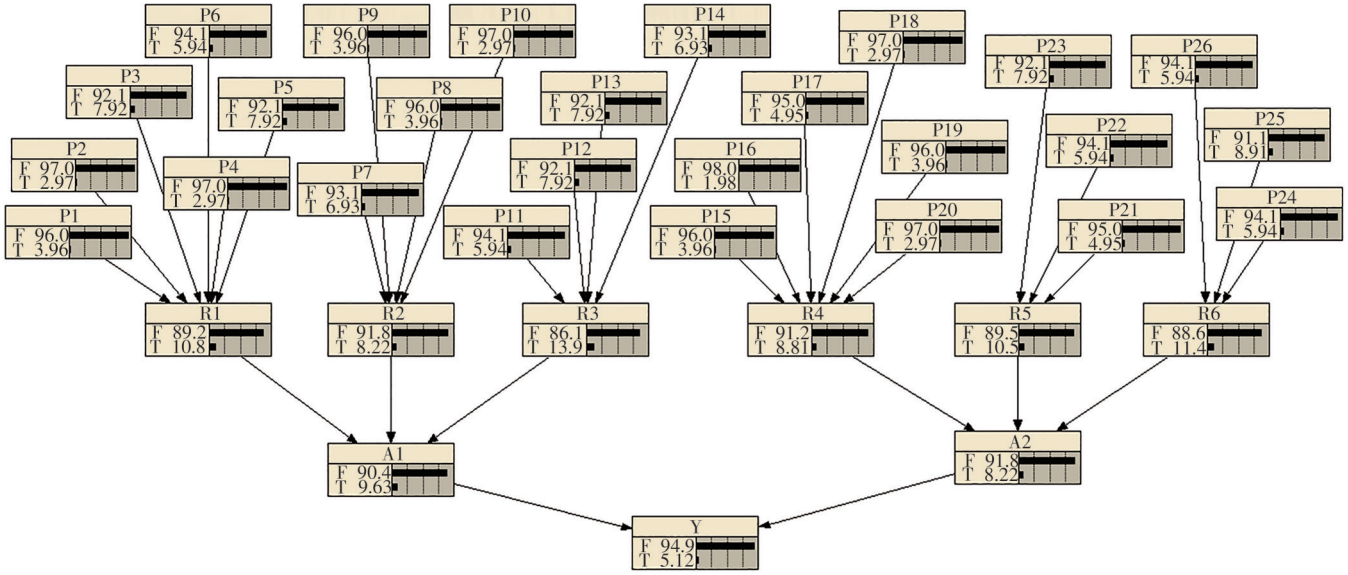


图4　货场包件区装卸作业安全总体风险概率

Fig.4　Overall risk probability of loading and unloading operations in the cargo yard package area

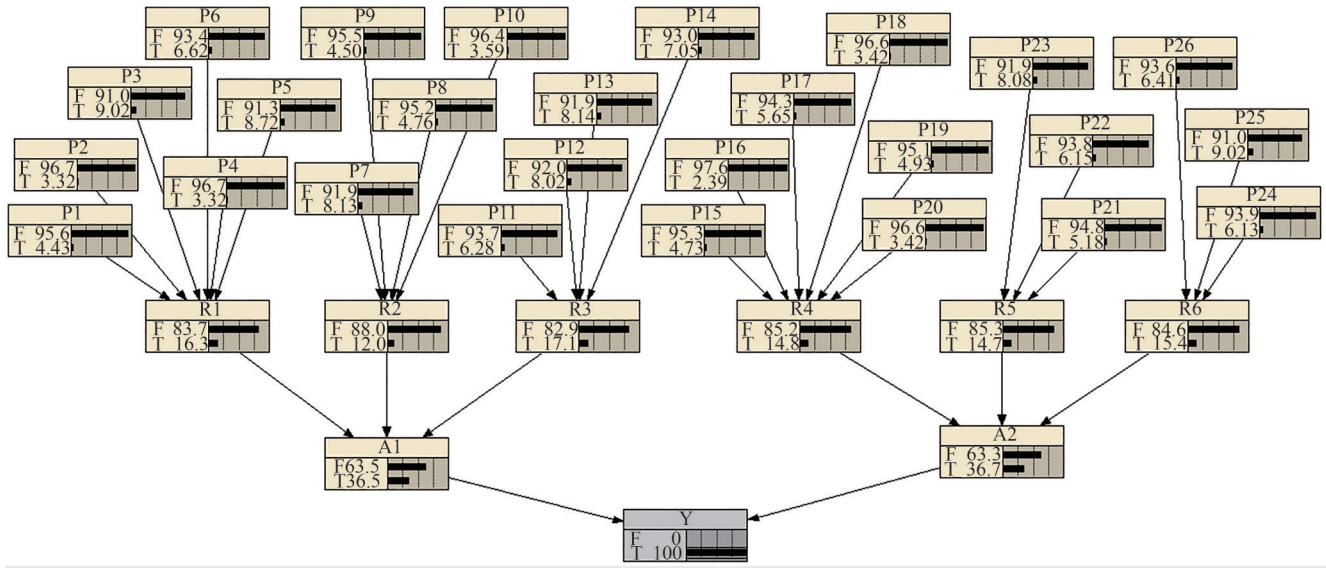


图5　假设事故发生的风险要素后验概率

Fig.5　Assuming the posterior probability of the risk factors for the occurrence of the accident.

撞冲突规避、货场路径引导、站台操作安全等。为确保作业安全，应从多个角度深入剖析相关因素，包括对人员素质、设备状况、车辆、操作规范及整体流程的审查。基于分析结果，有必要进行作业流程的优化调整，着重提升管理效率与业务能力，同时加强对作业执行过程的持续监控，提高货场安全防护管理水平。

在碰撞冲突规避方面，通过在货场包件区安全隐患较为突出的区域部署毫米波雷达、激光扫描仪与无线定位系统组成的多维感知网络，实现对作业人员、智能叉车、集装箱等目标的实时定位与运动轨迹捕捉。建议在叉车等装卸设备加装集成惯性导航的智能终端，内置AI边缘计算模块可实时分析设备运行姿态，当检测到货架间距小于安全阈值或转弯角速度超过设定值时，立即触发声光报警并联动液压系统实施减速制动。同时搭建基于数字孪生的作业场景仿真平台，利用历史事故数据训练深度学习模型，对堆垛区、通道等关键区域进行碰撞风险预测。例如，在包件区作业场景中，系统通过分析叉车驾驶员操作习惯数据，如刹车频率、转向角度偏差，自动生成个性化培训方案，结合VR模拟系统开展沉浸式操作训练，使操作人员在模

拟狭窄通道、动态障碍物等复杂作业场景下应急响应速度大幅提升。此外，通过构建货运安全知识图谱，对历年碰撞事故案例与设备运行数据进行关联分析，根据作业人员岗位推送定制化安全课程，让一线管理人员和作业人员都能够深刻认识到碰撞事故的严重性。

在装卸作业安全管理方面，装车前可以通过部署AI视觉检测装置，通过多光谱摄像头对货物外观进行360°扫描，结合光学字符识别(OCR)技术自动核对运单信息，确认信息是否完整且正确，避免遗漏或错误填报；对待装货物进行详细检查，确保所有货物的标签、数量及外观一致；检查货车的各项使用条件，确保车体及部件完整无损。装车后需仔细检查车载是否超重或不均匀，确认物品是否牢固捆绑，是否已按照规定施封，且显示牌位置正确无误；检查货物与运单信息的一致性，确保装载无误；确认货物是否按照预定位置正确装载，避免发生错装或遗漏。卸车前应确保卸货地点和顺序已经确认，且与运输计划相符；核实货票上的内容与实际车辆状态一致，确认封条是否完好；检查车辆是否符合卸货要求，确保货物安全。通过AI视觉检测装置对运输单据进行快速核对，确认货物的实际堆放位置；检查卸货后的货物，确保货物的安全堆放及防护措施是否得当；同时，利用AI＋边缘计算技术对卸货后的车辆进行全覆盖扫描，自动识别残留货物与车体损伤情况。综合运用先进技术设备，规范作业管理，从而提升铁路包件区货物装卸作业安全。

4　结束语

铁路货场包件区装卸作业安全受多种风险要素的影响，通过全面分析货场包件区装卸作业2大环节，识别出6类风险场景、26个风险项点，建立风险评估体系，并构建基于贝叶斯网络的铁路货场包件区装卸作业安全风险评估模型，提高风险评估方法的科学性与准确度。随着人工智能、大数据分析等技术的快速普及，下一步铁路货场装卸作业安全预防的重点是通过部署高清视频采集装置、毫米波雷达、激光扫描仪等智能感知设备组成的立体监测网络，引入人工智能、数字孪生、大数据分析等技术，实现铁路货场装卸作业风险的主动识别、智慧诊断、主动防控，以期为铁路货场整体安全体系的构建提供理论与技术支撑。

参考文献：

[1] 庄　河. 铁路货运高质量发展策略研究[J]. 铁道运输与经济，2022，44(1)：1-6.
ZHUANG He. Research on High-Quality Development Strategy of Railway Freight Transportation[J]. Railway Transport and Economy，2022，44(1)：1-6.

[2] 董　晖. 铁路货运生产作业与管控平台总体方案设计研究[J]. 铁道货运，2023，41(4)：1-8.
DONG Hui. Overall Scheme Design of Railway Freight Operation and Control Platform[J]. Railway Freight Transport，2023，41(4)：1-8.

[3] 叶　飞，周凌云，刘启钢，等. 铁路货运场站物流设施设备集中管理模式研究[J]. 铁道运输与经济，2021，43(11)：42-46，55.
YE Fei，ZHOU Lingyun，LIU Qigang，et al. Centralized Management Mode for Logistics Facilities and Equipment in Railway Freight Yards[J]. Railway Transport and Economy，2021，43(11)：42-46，55.

[4] 唐　浩，王丹竹，刘伟达，等. 关于铁路货运场站安全防护智能化建设的探讨[J]. 铁道货运，2022，40(4)：46-50.
TANG Hao，WANG Danzhu，LIU Weida，et al. Discussion on Intelligent Construction of Safety Protection at Railway Freight Yards[J]. Railway Freight Transport，2022，40(4)：46-50.

[5] 唐　浩. 考虑轨迹交叉影响的铁路物流基地作业安全防护方法研究[D]. 北京：中国铁道科学研究院，2021.

[6] 黄兴建，王　伟. 基于动态模糊理论的铁路货运安全评价研究[J]. 铁道科学与工程学报，2016，13(7)：1420-1425.
HUANG Xingjian，WANG Wei. Railway Freight Safety Evaluation Based on Dynamic Fuzzy Theory[J]. Journal of Railway Science and Engineering，2016，13(7)：1420-1425.

[7] 刘文彬，刘晓凡，刘军伟. 非正常情况下铁路装卸作业安全探究[J]. 黑龙江科技信息，2014(36)：5.

[8] 郭赫臣，汤银英，黄嘉怡，等. 基于FMEA的铁路货场安全管控关键环节识别研究[J]. 综合运输，2024，46(10)：163-169.
GUO Hechen，TANG Yinying，HUANG Jiayi，et al. Identifying Key Links in Safety Management and Control of Railway Freight Yards Based on FMEA[J]. China Transportation Review，2024，46(10)：163-169.

[9] 高海鹏，李建忠，王俊彤. 叉车安全事故成因分析及预防措施[J]. 特种设备安全技术，2018(4)：48-50.

[10] 黄志宏. 铁路货物装卸事故的安全分析及对策[J]. 上海铁道科技，2018(1)：27-28，48.

[11] 杨能普，杨月芳，冯　伟. 基于模糊贝叶斯网络的铁路危险货物运输过程风险评估[J]. 铁道学报，2014，36(7)：8-15.
YANG Nengpu，YANG Yuefang，FENG Wei. Risk Assessment of Railway Dangerous Goods Transport Process Based on Fuzzy Bayesian Network[J]. Journal of the China Railway Society，2014，36(7)：8-15.

[12] 张俊光，徐振超，贾赛可. 基于Noisy-or Gate和贝叶斯网络的研发项目风险评估方法[J]. 科技管理研究，2015，35(1)：193-196，206.
ZHANG Junguang，XU Zhenchao，JIA Saike. Risk Assessment on Research and Development Project Based on Noisy-or Gate and Bayesian Network[J]. Science and Technology Management Research，2015，35(1)：193-196，206.

（责任编辑：李丹丹）

Safety Risk Assessment of Loading and Unloading Operations in Railway Freight Yard Package Areas Based on Bayesian Networks

NING Jian,　HUANG Baojing

(Transportation & Economics Research Institute, China Academy of Railway Sciences Corporation Limited, Beijing 100081, China)

Abstract: To effectively assess the safety risks of loading and unloading operations in railway freight yard package areas, a risk assessment method based on Bayesian networks was proposed. Based on the current safety protection status in the package areas of railway freight yards and the analysis of the shed car operation process, 26 risk items across 6 risk scenarios were summarized from the loading and unloading of goods in the railway freight yard. A safety risk assessment indicator system was established. By sorting out the causal relationships and regularities among indicators, a Bayesian network structure was constructed. The probabilities of root nodes and intermediate nodes were calculated. Bidirectional inference was performed on the risk assessment model, yielding the occurrence probabilities of leaf nodes and the posterior probabilities of root nodes and enabling reverse inference of key risk influencing factors. Through an example simulation, the overall risk probability of loading and unloading operations in a railway freight yard package area was determined to be 5.12%. Key risk factors that may lead to accidents included fatigue driving of loaders, improper maintenance of loading equipment, and cargo spillage during loading. The method provides a reference for actively preventing and resolving safety risks in the loading and unloading operations in the railway freight yard package areas.

Keywords: Railway Freight Yard; Loading and Unloading Operation Safety; Risk Assessment; Bayesian Network; Simulation Analysis