文章编号：1003-1421(2026)06-0121-09
引用格式：俞丽娟. 基于云模型的铁路新站客运安全提前治理体系研究与实施[J]. 铁道运输与经济，2026，48(6)：121-129.
YU Lijuan. Research and Implementation of Advance Safety Governance System for Passenger Transport in New Railway Stations Based on Cloud Model[J]. Railway Transport and Economy，2026，48(6)：121-129.

基于云模型的铁路新站客运安全提前治理体系研究与实施

俞丽娟

(中国铁路上海局集团有限公司 上海站，上海 200070)

摘 要：针对我国铁路客运车站因规模扩张、客流量激增及外部环境复杂化引发的火灾爆炸、踩踏事故与反恐防暴等系统性安全隐患，提出一种基于云模型的铁路新站客运安全源头治理体系。该体系将安全治理前置至设计建设源头，通过云模型融合概率论与模糊数学，在方案设计阶段实现风险的动态预判与闭环管控，解决既有车站因“建运脱节”导致的设施超负荷、应急能力不足等结构性问题。以上海松江站为实证对象，基于云重心评判法识别出3项核心风险指标，针对性实施整改，将方案风险等级由中等(云相似度0.343)降至低等。实证表明，该方法突破了传统定性评估的局限性，为新建铁路客运站提供了兼顾前瞻性与本质安全的系统性解决方案。

关键词：新站建设；客运安全；云模型；提前介入；风险评估
中图分类号：U293.1 **文献标识码**：A **DOI**：10.16668/j.cnki.issn.1003-1421.20250810001

Research and Implementation of Advance Safety Governance System for Passenger Transport in New Railway Stations Based on Cloud Model

YU Lijuan

(Shanghai Station, China Railway Shanghai Group Co., Ltd., Shanghai 200070, China)

Abstract: In view of the systemic safety hazards such as fires and explosions, stampede accidents, and anti-terrorism and riot prevention issues caused by the scale expansion, surge in passenger flow, and increasingly complex external environment of railway passenger stations in China, this paper proposed a source governance system for passenger transport safety in new railway stations based on the cloud model. This system shifted safety governance forward to the source of design and construction. By integrating probability theory and fuzzy mathematics through the cloud model, the system realized dynamic risk prediction and closed-loop management in the scheme design stage, solving structural problems of existing stations such as facility overload and inadequate emergency capacity caused by the “disconnection between construction and operation”. With Shanghai Songjiang Station as an empirical object, three core risk indicators were identified based on the cloud barycenter evaluation method, and targeted rectification was implemented, thereby reducing the risk level of the scheme from medium (cloud similarity of 0.343) to low. The empirical results show that this method breaks through the limitations of traditional qualitative evaluation and provides a systematic solution balancing foresight and intrinsic safety for

收稿日期：2025-08-10

new railway passenger stations.
Keywords: New Station Construction; Passenger Transport Safety; Cloud Model; Advance Intervention; Risk Assessment

0　引言

目前我国铁路网络已实现对所有直辖市、省会及地级城市的全覆盖，并延伸至98%以上的县级行政区，2024年全国铁路旅客发送量达43.12亿人次，上海虹桥站单日最高客流突破42.42万人次，创历史峰值。然而，在路网规模快速扩张、新技术密集投用及运输高负荷运行的背景下，叠加运营周期延长与外部环境复杂化等因素，铁路客运车站的安全压力持续加剧，核心矛盾在于车站建设阶段的设计滞后于实际运营需求。

因此，铁路客运部门在新站建设时期提前介入，首先要对车站设计方案进行安全风险评估，全面排查可能存在的安全隐患，在建设时期进行治理，从源头上解决既有车站存在的问题，提高车站的安全性、运营效率和旅客满意度，达到新建车站更具有系统性、前瞻性和安全冗余性的目的。但是，新站建设方案的安全风险评价，由于评价指标的模糊性和随机性、决策者主观性太强等因素而呈复杂性。目前常用的模糊熵权评价法[1]、模糊灰色评价法[2]均通过函数矩阵法将不确定权重转化为确定权重分析，而云模型结合概率论和模糊理论的概念[3-4]，在定性、定量的转换过程中能充分考虑到结果的不确定性和模糊性[5-7]。在新站建设方案的安全风险中，运用隶属于云模型的云重心评判法建立评价指标的权重云模型，可弥补传统评价方法未考虑指标因素模糊性和随机性的不足。

鉴于此，拟基于云重心评判法，解决评估过程中的不确定性，将新站建设方案的安全风险评估改进为包含旅客流线、应急疏散、信息化管控、治安防控的全方位综合性安全风险评价，建立安全风险评价指标体系，并通过实际算例验证所提方法的可行性和有效性，以期科学评价新站建设方案的安全风险，为在提前治理阶段及时针对性优化完善新站建设方案提供理论依据。

1　安全风险评价指标构建

1.1　铁路车站客运安全要点

（1）旅客流线。旅客流线是人、设施设备、空间布局、管理共同作用的结果，主要指在综合交通枢纽内外的站前广场、站房及候车室、天桥、站台、地道、商业综合体等客运设施之间，旅客进出枢纽的流动过程和枢纽客流集疏组织的流动路线[8-10]。旅客流线的合理规划是保障车站秩序和旅客安全的基础。功能区布局不合理、引导标识不连贯、通道通行容量不足等问题都会导致旅客流线不畅，增加客运安全隐患。例如，上海站北进站口旅客进站后，由于闸机数量较少，在高峰时期经常引起拥堵。这些隐患的主要原因是在旅客流线规划时，未能充分考虑高峰时段的旅客流量和行为特点。

（2）应急疏散能力。应急疏散能力是检验车站安全水平的重要指标[11-13]。应急设备的编配情况、疏散通道的设计规格、安全出口的规划设置等，是影响应急疏散能力的重要因素。应急疏散能力不达标，将对旅客的生命财产安全造成极大威胁。

（3）信息化管控。信息化管控是现代铁路车站运营的关键环节[14]。信息化管控主要指对视频监控、网络安全、管控平台功能及旅服等信息系统的综合管理，一旦出现信息失管失控，将出现系统瘫痪、调度指令失效、安防机制崩溃等连锁反应。例如，2024年9月25日，英国20多个火车站遭受网络攻击，显示屏被不法分子控制，公然传播不良信息，挑战公共安全底线[15]。

（4）治安防控。治安防控是铁路车站安全工作的重中之重[16]。治安防控主要区分社会治安和旅客人身安全2个方面，治安防控不到位将直接导致安全事故或治安事件。

1.2　评价指标

将铁路新站客运安全作为最高层，在上述4个安全要点基础上，采用逐层分解的方式，构建旅客流线评价指标如表1所示，应急疏散评价指标如表2

所示，信息化管控评价指标如表3所示，治安防控评价指标如表4所示。

2　基于云重心评判法的铁路新站客运安全提前治理体系研究

2.1　云理论

云模型可用于表示定性概念与定量数值间的不确定转换关系[17]。设U为定量数据的论域，C为U的定性概念，如$x \in U$是定性概念C在U中的一次随机实现，且满足x对U的关联度为$\mu(x) \in [0, 1]$，是一个具有稳定倾向的随机数，计算公式为

$$\mu: U \to [0, 1] \quad \forall x \in U \quad x \to \mu(x) \tag{1}$$

定量值x在论域U上的分布称为云，每个x称为一个云滴。云的数字特征由3个参数(Ex, En, He)来表示，其中云的期望Ex表示云滴在论域空间分布中的期望值，是概念在论域中的中心值；云的熵En表示定性概念的不确定性度量，反映论域中云滴的离散程度，用来描述云的跨度；云的超熵He表示熵的不确定性度量，反映云滴的离散程度和确定度的随机性，用来描述云的厚度。“云重心”向量可以表示为$\boldsymbol{T} = \boldsymbol{ab}$，$\boldsymbol{a}$为云重心的位置向量，$\boldsymbol{b}$为云重心的高度向量。

2.2　计算步骤

基于云重心评判法的效能评估，可通过以下4个步骤生成。

（1）确定评语集。评语集$V = (v_1, v_2, \cdots, v_n)$是评价者对评价对象可能做出的各种结果所组成的集合，确定了评语集之后，还要给每种评价定义等级区间，即第$i(i = 1, 2, \cdots, n)$个评语区间$v_i = [x_i^{\min}, x_i^{\max}]$。

（2）确定评价标准云。$V_i = [x_i^{\min}, x_i^{\max}]$对应的标准云数字特征值为$(Ex_i, En_i, He)$，计算公式为

表1　旅客流线评价指标

Tab.1　Passenger flow line evaluation indicators

一级指标	二级指标	对照项点	典型问题案例或风险来源
旅客流线Z_1	功能区布局对旅客流线干扰Z_{11}	1.设计布局与实际使用需求是否相符：如失物招领处设置在付费区域，导致无票人员进站领取，增加安检压力；出站口位置设计未结合地铁免安检换乘等就近设置 2.服务功能区位置是否冲突：如安检区与检票口距离过近导致排队交叉，或商业区与通道重叠造成滞留 3.服务功能区面积是否适配：如综合服务中心、重点旅客候车区等面积与客流不匹配，引发人流溢出堵塞通道 4.服务功能衔接缓冲空间是否足够：如站台下地道口与出站口缺乏缓冲区，导致旅客堵塞	常规设计脱节：失物招领、商业区等功能布局未考虑实际客流行为，诱发非必要流线交叉与拥堵
	流动路径与引导标识致旅客迷失Z_{12}	1.标识设置是否连续、完备：关键路径节点(如转弯处、分叉口)缺失连续标识 2.标识内容表述是否统一：不同区域标识样式、术语不统一。如站前广场标识用语与站内用语不统一 3.标识可视性是否足够：安装高度不当，被设施遮挡，或夜间/雾天反光失效	大型综合交通枢纽内，由于标识系统不连贯、不统一，导致旅客尤其是初次乘车的旅客迷失方向，在通道内徘徊，影响整体通行效率并带来安全风险
	通道(含闸机等设备)通行拥堵Z_{13}	1.通道资源是否提前调度：如未提前预判地铁等其他交通工具对各进、出站口旅客流量大小的影响，导致通道堵塞或空置 2.通道宽度是否足够：通道设计宽度低于高峰客流需求，以及未考虑锐角转弯等对通行速度的影响 3.闸机通行效率是否足够：单位闸机通行能力与客流峰值不匹配 4.设备故障是否具备应急措施：闸机及其他设备故障引发客流积压，缺乏应急迂回措施，如缺少闸机一键开启功能 5.流线是否冲突：如检票口进站检票流线与换乘流线未分流设计，导致流线冲突	上海站北进站口拥堵，高峰时段由于闸机数量与通行效率不足，导致进站口严重拥堵，是典型的“建运脱节”
	垂直交通设施位置造成流线不畅Z_{14}	1.设施位置是否合理：电梯、楼梯未靠近主集散点或距离过近，增加绕行或拥堵风险 2.设施输送能力是否足够：垂直设施承载量不足，如无障碍电梯载重只有0.8 t，无法运输担架 3.设施布局是否均衡：如高使用率区域扶梯设置不足，低使用区扶梯利用率低 4.设施作业是否协同：如上行扶梯与下行楼梯位置冲突，形成对冲流线	电梯、楼梯口是天然的客流瓶颈。位置不当、容量不足或流线对冲，极易在高峰时段引发局部拥挤踩踏，尤其是在客运安全高风险区域(如站台)，可能造成严重拥堵，是站台安全的核心威胁之一

表2　应急疏散评价指标

Tab.2　Emergency evacuation evaluation indicators

一级指标	二级指标	对照项点	典型问题案例或风险来源
应急疏散Z_2	消防设备配置不足Z_{21}	1.关键设备是否缺配：消火栓、灭火器、自动喷淋系统的配置覆盖率不足，如消火栓覆盖保护半径不足30 m 2.设备周边环境是否有障碍：如消火栓前有遮挡，影响消火栓门正常开启	设计阶段未严格按照消防规范进行设备选型与布置，或后期由于商业布置、装修导致设备被遮挡，影响火灾初期的有效处置
	应急照明、广播、显示屏等设备不达标Z_{22}	1.应急设备是否缺配：如站前广场等区域未设置应急广播、显示屏，影响突发旅客滞留情况疏散引导 2.应急设备用电续航是否达标：如应急照明、广播、疏散指示灯等的蓄电池续航是否大于等于30 min 3.标志设置是否合规：如疏散指示标志距地面高度、间距及视觉连续性	由于应急广播、信息显示屏等设备缺失或失效，无法在大量旅客滞留时有效发布引导信息
	安全出口设置不合理导致疏散受阻Z_{23}	1.出口启用是否存在障碍：如出口的锁闭方式不能同时满足消防常态开启和反恐常态锁闭的要求，应急启用时无法打开 2.出口标志是否缺失：如疏散门醒目位置未设置安全出口标志 3.出口容量与客流是否匹配：如区域出口最大疏散负载不匹配高峰期客流密度	松江站原设计方案中，某出口被识别为核心高风险。其门禁系统仅在火灾断电时开启，无法应对暴恐、大客流等其他紧急情况，是重大的本质安全缺陷
	疏散通道设计不合理导致疏散缓慢Z_{24}	1.通道有效宽度是否足够：通道的建筑宽度与实际使用宽度不匹配 2.通道转折点是否影响疏散：通道内直角转弯过多或未设置缓坡区域 3.路径是否存在危险源：疏散流线中滑倒、绊倒风险点过多，未做明显标识	通道设计仅满足常规通行，未考虑紧急状态下人群的恐慌心理和行为特征，如狭窄、多转折的通道会极大降低疏散速度，增加次生伤害风险

表3　信息化管控评价指标

Tab.3　Information management and control evaluation indicators

一级指标	二级指标	对照项点	典型问题案例或风险来源
信息化管控Z_3	旅服等信息系统功能缺失Z_{31}	1.模块分区是否合理：如广播分区设置不合理，导致未能有效引导旅客 2.功能是否全覆盖：如引导屏、自动售票机等配置不足 3.智能分析是否有效：如站台端部防入侵误漏报报警	系统功能设计脱离现场运营需求，导致“有系统，不好用”，无法有效支撑大客流组织与安全预警，如广播分区不合理导致引导信息覆盖不全
	视频监控漏洞Z_{32}	1.监控是否覆盖所有区域：如楼梯间、商业区域、站前广场监控缺失 2.监控内是否存在盲区：如站台视频监控位置、角度设置不合理，存在监控盲区 3.存储时长是否足够：如安检区、检票口等重点区域视频存储时长未达到90 d	监控盲区的存在为治安事件、安全事故调查和责任界定带来困难，是安全管理的薄弱环节
	网络安全漏洞Z_{33}	1.是否存在一机两网：如施工单位部署新系统时同时连接内外网 2.系统是否存在漏洞：如新建系统未做高危端口的封禁和漏洞修复 3.终端防护是否有效：如弱口令、杀毒软件未部署、USB口未封堵 4.是否具备有效应急措施：如大屏遭非法侵入时无应急措施，未提前部署一键关屏功能	英国火车站网络攻击事件，车站信息系统(特别是公共显示屏)遭黑客入侵，被用于传播不良信息，直接挑战公共安全。此案例直接对应“网络安全漏洞”指标及“大屏应急措施”项点[15]
	管控平台配置缺陷Z_{34}	1.硬件是否匹配：如终端性能不足导致功能使用异常 2.权限是否超配：如未遵循最小权限原则向现场岗位发放权限	“重软件、轻硬件”“重功能、轻管理”的建设思路，导致系统在实际运营中稳定性差、管理混乱，影响指挥调度效能

表4　治安防控评价指标

Tab.4　Public security prevention and control evaluation indicators

一级指标	二级指标	对照项点	典型问题案例或风险来源
治安防控Z_4	反恐备品编配不足Z_{41}	1.数量配置是否不足：如防暴盾牌、钢叉配备数量少于规定要求 2.质量是否达标：如存在功能损坏、老化、过期等问题 3.点位设置是否合理：如出站口未配备反恐备品 4.备品是否失管：如柜门无管理密码，所有人员都可开启使用	关键点位备品缺失、数量不足，导致第一时间无法有效应对
	报警系统点位、功能不达标Z_{42}	1.点位设置是否全面：如安检区域未1∶1设置 2.响应是否有延迟：如报警点与接警点距离过远，影响响应处置 3.信息是否匹配：如实际报警点与系统中的设置不匹配	点位覆盖不足、响应延迟等机制与系统的联动问题都会直接影响对突发事件的快速处置能力
	站房防护屏障设置缺陷Z_{43}	1.强度是否足够：工艺、尺寸、材质、质量等不足，无法抵御暴力冲击，如站外通往站台通道门未按2.5 m实体防护门要求设置 2.密度是否足够：如站前防撞墩密度设置大于1.5 m	原设计方案中，某站房防护屏障设置缺陷被识别为高风险，具体表现为通道门强度不足、防撞石墩直径偏小，无法有效抵御车辆冲撞等暴力袭击
	旅客安全防护设施设置缺陷Z_{44}	1.质量是否达标：如防护玻璃围挡强度不够 2.设施参数是否合理：如长大电梯悬空侧防护栏杆高度不足，增加旅客坠亡风险	站台、长大电梯、高架候车区等区域的防护设施(如玻璃围挡、栏杆)的高度、强度若不达标，是旅客发生坠落、挤压等意外伤害的主要风险源

$$\begin{cases} Ex_i = \left(x_i^{\min} + x_i^{\max}\right)/2 \\ En_i = \left(x_i^{\max} - x_i^{\min}\right)/6 \\ He = k \end{cases} \tag{2}$$

式中：k为常数，需根据项目实际所需的模糊程度进行调整，取0.5。

（3）确定指标的权重。在评价过程中，合理分配指标权重能够使得评估结果更加科学。运用层次分析法计算指标权重过程分为3个步骤进行。

①构建判断矩阵。假设决策目标为U，其影响因素有u_1，u_2，…，u_n，共有n个，将目标U的n个因素两两进行比较，构造判断矩阵$\boldsymbol{A}$，即

$$\boldsymbol{A} = \begin{pmatrix} u_{11} & \cdots & u_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ u_{n1} & \cdots & u_{nn} \end{pmatrix} \tag{3}$$

式中：u_{ij}为u_i相对于u_j的重要性程度的赋值，元素重要性判断及量化赋值如表5所示。

表5　元素重要性判断及量化赋值

Tab.5　Element importance judgment and quantitative assignment

重要性判断	量化值	重要性判断	量化值
元素i和元素j同等重要	1	元素i比元素j稍非常重要	6
元素i比元素j稍稍微重要	2	元素i比元素j非常重要	7
元素i比元素j稍微重要	3	元素i比元素j稍绝对重要	8
元素i比元素j稍比较重要	4	元素i比元素j绝对重要	9
元素i比元素j比较重要	5	—	—

②求解指标权重。计算判断矩阵$\boldsymbol{A}$中各行元素几何平均值$\overline{\boldsymbol{w}_i}$为

$$\overline{\boldsymbol{w}_i} = \left(\prod_{j=1}^{n} u_{ij}\right)^{\frac{1}{n}} \qquad i = 1,\ 2,\ \cdots,\ n \tag{4}$$

再经规范化，获得权重向量为

$$\boldsymbol{w}_i = \frac{\left(\prod_{j=1}^{n} u_{ij}\right)^{\frac{1}{n}}}{\sum_{k=1}^{n}\left(\prod_{j=1}^{n} u_{ij}\right)^{\frac{1}{n}}} \tag{5}$$

③矩阵一致性检验。为避免矩阵逻辑性错误，需进行一致性检验。当一致性比率$CR < 0.1$时，说明判断矩阵的一致性较好，此时$\boldsymbol{A}$的特征向量可作为权重向量。

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \tag{6}$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \tag{7}$$

式中：CI为一致性指标；$\lambda_{\max}$为最大特征根；RI为平均随机一致性指标。

（4）确定指标评价云。收集专家对指标评价的问卷，每列对应一个指标，每行对应一个专家，得到评价矩阵。假设有m个专家，n个指标，则评价矩阵$\boldsymbol{R}$的维度为$m \times n$。评价矩阵如式(8)所示，其中r_{ij}表示专家i对指标j的评价值，分值范围0~100。

$$\boldsymbol{R} = \begin{pmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{mn} \end{pmatrix} \tag{8}$$

然后使用逆向云发生器，分别计算每个指标下所有专家评分结果的数字特征$C_j = \left(Ex_j,\ En_j,\ He_j\right)$。

$$Ex_j = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} r_{ij} \tag{9}$$

$$En_j = \sqrt{\frac{\pi}{2}}\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left|r_{ij} - Ex_j\right| \tag{10}$$

$$S_j^2 = \frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}\left(r_{ij} - Ex_j\right)^2 \tag{11}$$

$$He_j = \sqrt{\left|S_j^2 - En_j^2\right|} \tag{12}$$

（5）计算综合评价云。综合评价云的数字特征为

$$Ex = \sum_{j=1}^{N}\left(Ex_j w_j\right) \tag{13}$$

$$En = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}\left(En_j^2 w_j\right)} \tag{14}$$

$$He = \sum_{j=1}^{n}\left(He_j w_j\right) \tag{15}$$

（6）计算云相似度。设综合评价云的数字特征为$C_1 = \left(Ex_1,\ En_1,\ He_1\right)$，某个标准评价云的数字特征为$C_2 = \left(Ex_2,\ En_2,\ He_2\right)$，相似度计算步骤如下。①生成以$En_1$为期望、$He_1$为标准差的正态随机数$En = G\left(En_1,\ He_1\right)$；②生成以$Ex_1$为期望、$En$为标准差的正态随机数$x_k = G\left(Ex_1,\ En\right)$；③计算隶属度$\mu_k$如式(16)所示；④重复上述①—③，直到生成$n$个$\mu_k$，并计算相似度$\delta_i$如式(17)所示。指标云与各标准评价云之间的相似程度计算同理。

$$\mu_k = \exp\left(-\frac{\left(x_k - Ex_2\right)^2}{2En_2^2}\right) \tag{16}$$

$$\delta_i = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}\mu_k \tag{17}$$

（7）综合评价。计算出综合评价云与每个标准评价云的相似度，然后基于最大隶属度原则，得到综合评价结果，为相似度最高的评价等级。

3　上海松江站应用实例

3.1　确定评语集

对上海松江站客运安全风险进行量化评估，首先要对风险等级进行划分与分类，本研究将其分为5个等级，并根据式(2)计算各评价等级的云模型参数如表6所示，利用绘图软件绘制标准云图如图1所示。

表6　评价等级的云模型参数

Tab.6　Cloud model parameters of evaluation levels

评价等级	等级区间	标准云数字特征
高	[0.0，30.0)	(15.0，5.0，0.5)
较高	[30.0，60.0)	(45.0，5.0，0.5)
中等	[60.0，80.0)	(70.0，3.333，0.5)
较低	[80.0，90.0)	(85.0，1.667，0.5)
低	[90.0，100.0]	(95.0，1.667，0.5)

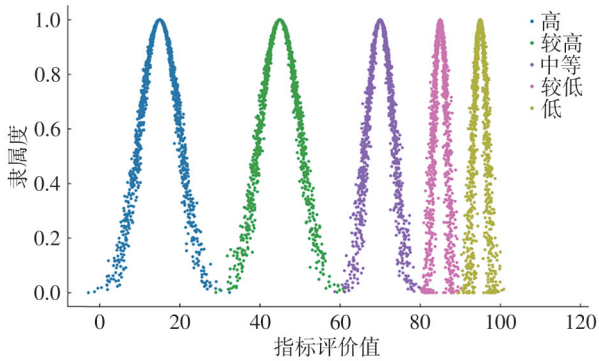

图1　标准云图

Fig.1　Standard cloud map

3.2　确定指标权重

依据铁路新站介入客运安全风险评价指标，以上海松江站为应用案例，邀请参加提前治理工作的行业专家参与(从事铁路设计、运营安全管理、应急疏散、客运组织等领域≥10 a，覆盖车站设计、信息化、治安防控等专业)，以节约成本、保障安全、保证质量为原则，以铁路新站建设客运安全提前治理为评价主体，对指标进行两两比较打分，确定一级判断矩阵$\boldsymbol{A}^{'}$和二级判断矩阵$\boldsymbol{A}_1^{'}$，$\boldsymbol{A}_2^{'}$，$\boldsymbol{A}_3^{'}$，$\boldsymbol{A}_4^{'}$。通过式(6)—(7)，计算一致性检验结果如表7所示，CR值均小于0.1，认为判断矩阵合理。

表7　一致性检验结果

Tab.7　Consistency test results

判断矩阵	λ_{max}	CI	RI	CR	是否通过检验
$\boldsymbol{A}^{'}$	4.031 22	0.010 41	0.89	0.011 69	是
$\boldsymbol{A}_1^{'}$	4.092 12	0.030 71	0.89	0.034 12	是
$\boldsymbol{A}_2^{'}$	4.056 31	0.018 60	0.89	0.020 90	是
$\boldsymbol{A}_3^{'}$	4.021 44	0.007 08	0.89	0.007 96	是
$\boldsymbol{A}_4^{'}$	4.038 21	0.012 62	0.89	0.014 18	是

基于式(5)、式(13)—(15)，计算各级指标权重及数字特征如表8所示。通过分析各级指标权重结果可知，二级指标中权重占比最高前3项分别是功能区布局干扰风险、进出站防护屏障设置缺陷风险和通道闸机拥堵风险，表明空间布局和结构安全是铁路客运站运维的核心风险点。

3.3　计算综合评价云

邀请参加提前治理工作的行业专家参与，对某设计方案进行评价，生成评价矩阵$\boldsymbol{R}$，并根据式(2)计算各指标的云模型参数$C_j=\left(Ex_j,\ En_j,\ He_j\right)$，由式(13)—(15)计算综合评价云的数字特征$C=(65.427,\ 8.100,\ 1.855)$。综合云图如图2所示。

3.4　计算云相似度

经计算，该方案的综合风险云与各等级标准云的相似度分别为：中等风险(0.343)、较高风险(0.055)、较低风险(0.011)。根据最大隶属度原则(即取相似度最高的等级)，判定该方案的风险等级为中等风险。进一步计算各二级指标的风险等级，相似度计算结果如表9所示。分析可知，指标Z_{13}，Z_{23}和Z_{43}的风险评价结果均为“较高”，是需要重点关注的核心风险点。

3.5　提前治理方案

（1）安全出口设置不合理导致疏散受阻。回溯该设计方案发现，安全出口大门仅可在遇突发火灾导致应急失电时方可自动打开，在暴恐事件、大客流拥堵等其他非正常情况下无法应急开启。对应调整设计方案，在安全出口门上内侧安装破玻按钮(一键开启按钮)，以保证在突发应急事件时，任何人员逃生至安全出口时都能顺利打开大门。

（2）通道(含闸机等设备)通行拥堵。回溯该设计方案发现有3项问题隐患：一是未提前规划地铁

表8　各级指标权重及数字特征

Tab.8　Weights and digital characteristics of multi-level indicators

目标体系	一级指标	权重	二级指标	局部权重	全局权重	数字特征 $C_j=(Ex_j,\ En_j,\ He_j)$
铁路新站建设客运安全提前治理体系	旅客流线 Z_1	0.272 52	功能区布局对旅客流线干扰 Z_{11}	0.210 72	0.057 43	(81.8，7.771，2.104)
			流动路径与引导标识致旅客迷失 Z_{12}	0.113 24	0.030 86	(79.4，8.773，1.347)
			通道(含闸机等设备)通行拥堵 Z_{13}	0.516 14	0.140 66	(47.9，9.400，2.364)
			垂直交通设施位置造成流线不畅 Z_{14}	0.160 10	0.043 63	(82.5，6.392，1.966)
	应急疏散 Z_2	0.416 64	消防设备配置不足 Z_{21}	0.194 12	0.080 88	(80.3，6.893，0.224)
			应急照明、广播、显示屏等设备不达标 Z_{22}	0.139 71	0.058 21	(83.0，6.517，1.168)
			安全出口设置不合理导致疏散受阻 Z_{23}	0.523 18	0.217 98	(47.5，8.147，2.181)
			疏散通道设计不合理导致疏散缓慢 Z_{24}	0.142 99	0.059 58	(79.5，9.149，3.813)
	信息化管控 Z_3	0.108 42	旅服等信息系统功能缺失 Z_{31}	0.226 18	0.024 52	(80.5，8.523，2.813)
			视频监控漏洞 Z_{32}	0.426 51	0.046 24	(80.2，9.074，1.127)
			网络安全漏洞 Z_{33}	0.182 35	0.019 77	(82.9，6.643，1.757)
			管控平台配置缺陷 Z_{34}	0.164 96	0.017 88	(80.8，7.771，1.569)
	治安防控 Z_4	0.202 42	反恐备品编配不足 Z_{41}	0.242 86	0.049 16	(80.7，7.896，2.333)
			报警系统点位、功能不达标 Z_{42}	0.138 57	0.028 05	(79.4，8.773，2.168)
			站房防护屏障设置缺陷 Z_{43}	0.465 71	0.094 27	(42.9，7.395，0.729)
			旅客安全防护设施设置缺陷 Z_{44}	0.152 86	0.030 94	(81.6，7.771，1.855)

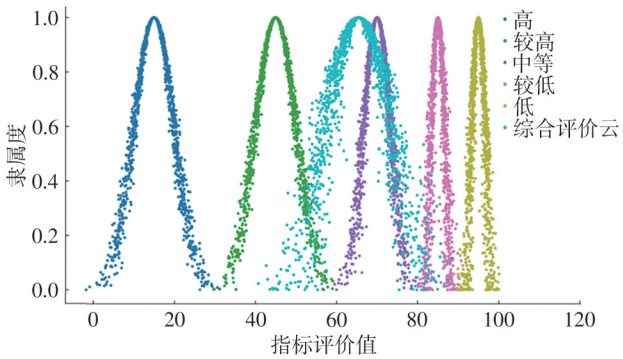

图2　综合云图

Fig.2　Comprehensive cloud map

免安检通道；二是闸机未配备一键开启功能，易引发旅客积压拥堵踩踏；三是检票口换乘闸机与检票闸机平行设置，在同时进行检票和换乘作业时，易形成旅客对冲，存在较大拥堵隐患。对应调整设计方案，将北区东面出站口设置为地铁免安检通道，添加闸机一键开启按钮，调整换乘闸机至检票口侧边，减少检票与换乘旅客流线交叉。

（3）站房防护屏障设置缺陷。回溯该设计方案发现有2项问题隐患：一是站外通往15号站台通道门强度不足以抵御暴力冲击；二是站房前设置直径

表9　相似度计算结果

Tab.9　Similarity calculation results

指标	评价结果	相似度				
		高	较高	中等	较	低
功能区布局对旅客流线干扰 Z_{11}	较低	0.000 0	0.000 6	0.132 9	0.211 9	0.050 1
流动路径与引导标识致旅客迷失 Z_{12}	中等	0.000 0	0.002 1	0.220 8	0.155 6	0.041 9
通道(含闸机等设备)通行拥堵 Z_{13}	较高	0.005 0	0.471 8	0.030 3	0.000 1	0.000 0
垂直交通设施位置造成流线不畅 Z_{14}	较低	0.000 0	0.000 4	0.083 0	0.250 7	0.039 2
消防设备配置不足 Z_{21}	较低	0.000 0	0.000 1	0.186 8	0.193 4	0.024 1
应急照明、广播、显示屏等设备不达标 Z_{22}	较低	0.000 0	0.000 0	0.084 3	0.242 6	0.043 8
安全出口设置不合理导致疏散受阻 Z_{23}	较高	0.004 6	0.511 9	0.022 0	0.000 0	0.000 0
疏散通道设计不合理导致疏散缓慢 Z_{24}	中等	0.000 0	0.007 5	0.172 6	0.146 8	0.038 3
旅服等信息系统功能缺失 Z_{31}	中等	0.000 0	0.004 1	0.160 6	0.151 2	0.039 3
视频监控漏洞 Z_{32}	中等	0.000 0	0.002 1	0.198 0	0.158 1	0.044 3
网络安全漏洞 Z_{33}	较低	0.000 0	0.000 1	0.091 1	0.246 1	0.048 8
管控平台配置缺陷 Z_{34}	较低	0.000 0	0.000 6	0.172 9	0.213 5	0.041 0
反恐备品编配不足 Z_{41}	较低	0.000 0	0.001 9	0.156 5	0.171 8	0.040 3
报警系统点位、功能不达标 Z_{42}	中等	0.000 0	0.002 4	0.203 4	0.149 7	0.041 0
站房防护屏障设置缺陷 Z_{43}	较高	0.003 5	0.543 1	0.001 9	0.000 0	0.000 0
旅客安全防护设施设置缺陷 Z_{44}	较低	0.000 0	0.001 3	0.148 2	0.188 0	0.053 6

为50 cm的防撞石墩，防撞击能力较低。根据《中国铁路上海局集团有限公司高速铁路物防设施建设标准指导意见》要求调整设计方案，通道门设计变更为2.5 m实体防护门，防撞石墩设计变更为直径80 cm。

（4）其他调整方案如表10所示。

表10　其他调整方案

Tab.10　Other adjustment plans

二级指标	变更项点
旅客流线(功能区布局)	1.失物招领处在出站口设置，面向城市中庭公共区域
	2.第三卫生间门手动推拉门改为电动平移门
	3.实名制安检区域按照4(闸机)+2(安检仪)+1(人工通道)模式模块化设置
	4.综合服务中心(售票处)按照内外双开设置
	5.西侧商务座候车区改为重点旅客候车区，并与母婴室合并设置
	6.结合四个风柱设置军人候车区、儿童娱乐区、自助充电区、自助售货区
应急疏散	1.检票口闸机与高架屏蔽门间距预留不小于4 m
	2.出站闸机距离出站大门间距预留不小于5 m
	3.进站集散厅空间进深预留不小于5 m
	4.应急疏散门地锁钥匙统一设置，一钥通用
信息化管控	1.每个进站区域加设1个龙门架
	2.进站厅外按旅客进站流线设置应急公告屏、广播
	3.儿童娱乐区电视机采用LCD一体机，不具备无线、蓝牙、红外功能
	4.综控室升级管控平台电脑配置
	5.商业层公共监控盲区增加视频监控
	6.公共区域综合显示系统增加一键断电功能
治安防控	1.检票口玻璃围挡高度设为1.4 m
	2.进站安检区对外玻璃隔断设为2.2 m
	3.出站闸机栏杆高度设为1.4 m
	4.长大扶梯悬空侧玻璃扶手架高至1.5 m
	5.商业层玻璃围挡高度设为1.6 m
	6.出站口外加设接客栏杆

4　结束语

基于云模型理论，构建铁路新站客运安全提前治理体系，该体系在铁路运营单位提前治理阶段的客运安全治理工作中展现出显著的必要性、系统性与先进性。该方法有效克服了传统评估手段中定性分析的局限性及模糊信息难以量化的难题。通过在新站建设阶段对空间布局的合理性与结构安全的可靠性进行优化调整，并结合对照变更建议实施治理，最终将上海松江站的客运安全风险等级由中等风险降至低等风险水平，提前治理效果显著。未来可进一步引入智能仿真技术，提升模型在多枢纽、复杂场景下的适用深度，为铁路新站建设的提前治理与客运安全风险管理提供更加系统化、智能化的支撑。

参考文献：

[1] 欧阳武，程启超，金　勇，等．基于熵权模糊综合评价法的水润滑尾轴承性能评估[J]．中国机械工程，2020，31(12)：1407-1414.
OUYANG Wu，CHENG Qichao，JIN Yong，et al. Performance Evaluation of Water Lubricated Stern Bearings Based on Entropy Weight Fuzzy Comprehensive Evaluation Method[J]. China Mechanical Engineering，2020，31(12)：1407-1414.

[2] 李兴国．基于灰色关联分析的犹豫模糊多属性决策模型构建及其应用[J]．模糊系统与数学，2019，33(5)：127-135.
LI Xingguo. Hesitant Fuzzy Multi-Attribute Decision Making Model Based on Grey Relational Analysis and Its Application[J]. Fuzzy Systems and Mathematics，2019，33(5)：127-135.

[3] 吴华稳．基于改进CRITIC云模型的铁路旅客运输安全评价研究[J]．铁道运输与经济，2024，46(10)：207-214，222.
WU Huawen. Safety Evaluation of Railway Passenger Transport Based on Improved CRITIC Cloud Model[J]. Railway Transport and Economy，2024，46(10)：207-214，222.

[4] 张友鹏，杨金凤．基于云模型和组合赋权法的CTCS-3级列控系统可靠性评价[J]．铁道学报，2016，38(6)：59-67.
ZHANG Youpeng，YANG Jinfeng. Reliability Evaluation of CTCS-3 Based on Cloud Model and Combination Weighting Method[J]. Journal of the China Railway Society，2016，38(6)：59-67.

[5] 党鹏飞，张晓婕，孙龙飞，等．基于信息熵-云模型的城市燃气管道风险评价[J]．机械工程师，2025(7)：24-26.
DANG Pengfei，ZHANG Xiaojie，SUN Longfei，et al. Urban

Gas Pipeline Risk Assessment Based on Information Entropy-Cloud Model[J]. Mechanical Engineer，2025(7)：24-26.

[6] 陈虹兵，王多宏．基于AHP-熵权-可拓云模型的城市轨道交通跨线运营效果评价[J]. 铁道运输与经济，2023，45(2)：118-125.
CHEN Hongbing，WANG Duohong. Evaluation of Cross-Line Operation Effect of Urban Rail Transit Based on AHP-Entropy Weight-Extension Cloud Model[J]. Railway Transport and Economy，2023，45(2)：118-125.

[7] BOURAIMA M B，SAHA A，STEVIĆ Ž，et al. Assessment Actions for Improving Railway Sector Performance Using Intuitionistic Fuzzy-Rough Multi-Criteria Decision-Making Model[J]. Applied Soft Computing，2023，148：110900.

[8] 曹振熙．客运站设计与智能化客运站[M]. 北京：中国水利水电出版社，2007.

[9] 朱小娟．大型铁路客运站旅客流线布置研究[D]. 成都：西南交通大学，2008.

[10] 曾凤梅．大型铁路综合交通枢纽旅客流线重构研究[J]. 铁道运输与经济，2021，43(12)：93-100.
ZENG Fengmei. Research on Passenger Flow Line Reconstruction of Large-Scale Railway Comprehensive Transport Hubs[J]. Railway Transport and Economy，2021，43(12)：93-100.

[11] 任常兴，张　欣，张　网，等．人员密集场所突发火灾事故应急疏散能力分析[J]. 中国安全生产科学技术，2010，6(2)：39-43.
REN Changxing，ZHANG Xin，ZHANG Wang，et al. Analysis on the Emergency Evacuation Capabilities in Fire Accidents of Assembly Occupancies[J]. Journal of Safety Science and Technology，2010，6(2)：39-43.

[12] 江　伟．城市道路应急疏散能力综合评价的研究[D]. 北京：北京交通大学，2009.

[13] 任常兴，张　欣，张　网，等．人员密集场所消防应急疏散能力评估指数法研究[C]//2011中国消防协会科学技术年会论文集．济南，2011：201-205.

[14] 袁宝文．论客运车站信息化的发展[J]. 铁道通信信号，2009，45(12)：43-45.

[15] 新华社．英国多个火车站遭网络攻击[EB/OL]. [2026-03-18]. https：//news. qq. com/rain/a/20240927A00UXN00.

[16] 王渝颖．K市铁路车站治安防控信息化建设研究[D]. 昆明：云南师范大学，2023.

[17] 李德毅，杜　鹢．不确定性人工智能[M]. 北京：国防工业出版社，2005.

(责任编辑　李丹丹)