

铁路运输安全风险管控及评价体系构建

李 伟

国家能源集团宁夏煤业有限责任公司煤制油化工销售分公司 宁夏 银川 750002

摘要：铁路运输安全风险管控及评价体系以风险识别、评估与管控为核心，涵盖技术、自然、人为及管理等多维度风险。通过构建三维矩阵法等识别体系、基于层次分析法与模糊综合评价法的评价模型，实现风险的精准分类与量化评估。同时，结合分层级、差异化管控策略及智能巡检等技术手段，提升风险处置效率。实践表明，该体系可有效降低设备故障率与人员违规行为，增强应急能力，保障运输安全。

关键词：铁路运输；安全风险管控；评价体系构建

引言：铁路运输作为国家经济的“大动脉”，其安全运行关乎国计民生。然而，随着运营里程延长、技术设备迭代及客货运输需求增长，铁路运输安全风险呈现出多样性、复杂性和隐蔽性等特征，传统管理模式已难以满足安全保障需求。构建科学系统的安全风险管控及评价体系，实现风险动态感知、精准评估与分层防控，成为提升铁路安全治理能力、保障运输高效有序的核心任务。

1 铁路运输安全风险理论框架

1.1 风险定义与分类

(1) 定义。铁路运输安全风险，指在列车运行、设备维护、客流组织等全运输过程中，可能引发人员伤亡、设备损坏、运营中断或环境危害的不确定性事件。此类事件具有突发性、连锁性特点，可能造成经济损失与社会影响，需通过系统管控降低发生概率与危害程度。(2) 分类。1) 技术风险：源于设备技术状态异常，如轨道几何状态偏差 $> 5\text{mm}$ 时，易导致轮轨关系失衡，增加脱轨隐患；信号系统故障则可能引发列车追尾或进路错误。2) 自然风险：受极端天气影响，暴雨、暴雪、强风等天气可使接触网故障率上升40%，同时可能导致线路边坡溜坍、道岔冻结，直接阻断运输通道。3) 人为风险：由人员操作失误或违规行为引发，如调度员指令错误、司机精力不集中等，可使列车晚点率上升15%；车站工作人员客流引导不当，还可能造成人员拥挤踩踏。4) 管理风险：因制度不完善或执行不到位产生，若应急预案覆盖率不足70%，突发事件发生时将缺乏有效处置流程；安全培训频次不足，也会导致人员应急能力薄弱。

1.2 风险管理理论基础

(1) PDCA循环。作为动态管理工具，贯穿铁路安全风险全管理全流程。计划阶段聚焦风险库建设，梳理8大类320项风险点并明确管控责任；执行阶段推进监测系统部

署，如轨道检测车每周全覆盖巡检、接触网视频监控实时预警；检查阶段开展月度评估，对比风险指标变化，识别管控漏洞；改进阶段根据评估结果调整阈值，如将轨道偏差预警值从5mm下调至4mm，提升防控精准度^[1]。(2) 墨菲定律应用。基于“凡事可能出错，就一定会出错”的原则，在关键环节采用冗余设计。例如列车制动系统设置主备两套装置，将单点故障率降至0.001%以下；调度中心配备双机热备系统，确保极端情况下指令传输不中断，通过多重保障规避风险发生。

2 铁路运输安全风险识别体系

2.1 风险识别方法论

三维矩阵法：

维度	指标	权重
设备状态	钢轨探伤缺陷率	0.35
人员行为	标准化作业执行率	0.25
环境因素	大风预警响应时效	0.20
管理效能	安全制度更新周期	0.20

2.2 关键风险源解析

(1) 设备风险。接触网作为列车动力传输核心部件，其磨损状态直接影响运行安全。当磨损率 $> 30\%$ 时，导线机械强度显著下降，受电弓与接触网的接触稳定性变差，易出现离线放电现象，故障率较正常状态激增3-5倍，可能导致列车临时断电停车，严重时引发接触网断线事故，对后续线路通行造成长时间影响。此外，磨损超限还会加速接触网零部件老化，增加检修频次与成本。(2) 人员风险。司机作为列车运行的直接操控者，疲劳驾驶是突出风险点。当连续作业时长超过规定阈值，司机注意力集中度下降，对信号的识别反应速度变慢，信号误认率上升20%以上，可能出现错看信号、漏看限速标识等情况，轻则导致列车降速晚点，重则引发闯红灯、冒进信号等险性事件，威胁行车安全。(3) 系

统风险。调度集中系统（CTC）是铁路运输指挥的“大脑”，其故障会直接中断行车组织。目前CTC系统故障平均恢复时间需45分钟，在此期间，车站需切换为人工办理行车手续，接发列车效率大幅降低，单条线路每小时通过能力从20列降至8列左右，易造成线路拥堵，引发区域路网运输秩序紊乱^[2]。

2.3 风险数据库构建

（1）四级分类库设计。风险数据库以“全周期管控”为核心，建立“风险事件-原因-后果-控制措施”四级分类体系。其中，风险事件按设备、人员、系统等维度分类；原因层深挖技术缺陷、操作失误等根源；后果层明确经济损失、运营影响等程度；控制措施层涵盖预警、处置、整改等方案，实现风险信息结构化存储与快速检索。（2）实际应用案例。2024年某客运专线因塑料布等异物侵入接触网，导致列车晚点1小时。工作人员通过风险数据库检索“异物侵入”关键词，10秒内匹配出2022年类似事件记录，系统自动推送“停电清除异物+启用备用线路疏散客流”的处置方案，最终将后续晚点时间压缩至20分钟，显著提升应急处置效率。

3 铁路运输安全风险评价体系构建

3.1 评价指标体系设计

（1）规模范围指标。包括列车密度（单位时间内某线路通过列车数量）与车站通过能力（车站每小时办理接发列车的最大次数）。列车密度过高易增加会车、避让风险，车站通过能力不足则可能导致列车滞留，二者共同决定线路运行的基础安全冗余。（2）速度时效指标。以准点率（准点到达列车数占总列车数的比例）和平均延误时间（延误列车的延误时长平均值）为核心。准点率低于95%通常意味着运输组织存在漏洞，平均延误时间超过15分钟则可能引发连锁晚点，影响整体运输秩序。（3）运输效能指标。涵盖周转量（旅客或货物运输量与运输距离的乘积）与满载率（实际载客/货量占额定载客/货量的比例）。周转量过大可能导致设备超负荷运转，满载率过高（如旅客列车超员20%以上）会增加应急疏散难度，二者需与安全承载力动态匹配。（4）货物安全指标。聚焦货损率（受损货物价值占总运输货物价值的比例）与盗窃发生率（发生货物盗窃事件的次数/运输批次）。对于危险品运输，货损率需控制在0.01%以下，盗窃发生率则需维持在0，直接关系到货物运输的安全性与可靠性。（5）应急能力指标。包含应急演练频次（每年开展专项应急演练的次数，建议不低于4次）与救援到达时效（应急救援队伍从接到指令到抵达现场的平均时间，要求不超过30分钟），直接体现突发事件的处置效

率与风险控制能力^[3]。

3.2 评价模型构建

（1）层次分析法（AHP）确定指标权重。采用三层递阶结构：目标层为“铁路运输安全综合指数”，用于直观反映整体安全水平；准则层划分为设备、人员、环境、管理4类核心维度，其中设备与管理维度权重通常较高（各占30%左右），人员与环境维度各占20%左右；指标层对应3.1中的具体量化指标，通过两两比较构建判断矩阵，计算得出各指标权重，确保评价结果更贴合实际风险影响程度。（2）模糊综合评价法处理定性指标。针对“安全文化成熟度”“人员安全意识”等难以直接量化的指标，采用模糊综合评价法。通过构建“优秀-良好-一般-较差”4级评价集，邀请10-15名铁路安全专家打分，将定性描述转化为模糊矩阵，再结合指标权重计算模糊评价结果，实现定性指标的定量化处理，提升评价模型的完整性。

3.3 评价方法选择

（1）定量评价。采用故障树分析（FTA），以“列车脱轨”“大面积晚点”等顶事件为分析目标，逐层分解至基础事件（如轨道断裂、信号故障），通过统计基础事件发生概率，计算顶事件发生概率，量化评估核心风险的发生可能性，适用于设备故障、系统失效等可量化风险的评价。（2）定性评价。运用专家评分法，邀请运输、设备、应急等领域专家，对“管理制度完善性”“培训效果”等定性内容进行打分（满分100分，80分以上为优秀），结合专家权重计算最终得分，弥补定量评价在定性维度的不足。（3）混合评价。将定量结果（如故障树计算的风险概率）与定性结论（如专家评分的管理制度有效性）按6:4的权重集成，形成最终的安全评价结果。例如，某线路定量评价得分85分、定性评价得分78分，混合评价得分为 $85 \times 0.6 + 78 \times 0.4 = 82.2$ 分，实现对铁路运输安全的全面、客观评价。

4 铁路运输安全风险管控体系构建

4.1 管控策略设计

（1）分层级管控。基于风险发生概率划分管控等级，明确响应时限与处置标准，实现精准化管控：1）红色风险（概率 > 5%）：此类风险具有高危害性与紧迫性，如接触网磨损率超50%、轨道几何偏差连续3天超10mm等，需立即启动停运整改程序。停运期间，组织专业团队开展全面检修，待风险概率降至0.5%以下，经第三方检测机构核验合格后，方可恢复运营，坚决杜绝“带病运行”。2）橙色风险（概率2%-5%）：涵盖信号系统偶发故障、司机疲劳驾驶预警频次上升等情况，

要求72小时内完成处置。由线路运维或运输管理部门牵头,制定专项方案,如更换故障信号模块、调整司机排班计划,处置完成后需跟踪监测7天,确认风险稳定可控。3)黄色风险(概率0.5%-2%):包括车站客流高峰时段拥挤度偏高、货物装载加固抽查合格率略低等,实行月度跟踪管控。每月通过数据分析、现场检查等方式评估风险变化,若风险概率上升至2%以上,立即升级为橙色风险处置。(2)差异化管控。根据线路特性与风险特点制定针对性策略:高速铁路因运行速度快、技术设备密集,侧重设备实时监测,如在接触网、轨道、列控系统部署24小时在线监测装置,每30分钟生成一次状态报告,及时发现技术隐患;普速铁路因线路里程长、人员操作环节多,强化人员管理,如每月开展2次安全培训、每季度组织1次应急演练,严格落实作业标准化流程,降低人为失误风险。

4.2 管控措施实施

(1)技术措施。全面推广智能巡检机器人应用,涵盖轨道、接触网、隧道等关键场景。轨道巡检机器人配备激光雷达与高清摄像头,可自主识别轨道裂纹、扣件松动等隐患,检测效率较人工提升3倍,且夜间作业覆盖率达100%,弥补人工巡检盲区;接触网巡检机器人能沿接触网导线移动,精准测量磨损、导高参数,数据误差控制在0.1mm内,大幅提升设备缺陷检出率。(2)管理措施。推行关键操作“双确认”制度,覆盖列车发车、信号开放、接触网停电等核心环节。例如列车发车前,司机需与车站值班员通过电台确认发车指令,同时核对车载信号显示,双环节确认无误后方可启动,关键操作复核率达100%;设备检修时,作业人员与监护人员需共同确认停电范围、安全措施到位情况,避免误操作引发事故。(3)应急措施。建立跨区域应急联动机制,整合沿线铁路局、地方应急管理部门、医疗救援机构资源,明确职责分工与响应流程。当发生线路中断、列车故障等突发事件时,通过应急指挥平台一键调度周边救援力量,跨局救援响应时间较以往缩短40%。例如某线路因暴雨导致边坡溜坍,联动机制启动后,30分钟内相邻铁路

局的抢险队伍、大型机械到位,2小时内完成临时线路抢修,减少停运损失^[4]。

4.3 管控效果评估

(1)构建评估指标。从风险处置、复发情况、经济影响三个维度设置核心指标:风险处置及时率(按时完成处置的风险事件数/总风险事件数),目标值不低于98%;风险重复发生率(同一风险半年内再次发生次数/总风险事件数),要求控制在5%以下;经济损失降低率(实施管控后损失额较上年同期减少比例),力争提升至15%以上,通过量化指标客观衡量管控成效。(2)案例。某铁路局自2024年应用新管控体系以来,成效显著:通过智能巡检机器人与“双确认”制度结合,设备故障率同比下降32%,其中接触网故障减少45%;强化人员培训与分层级管控,人员违规行为月均发生次数从12起降至3起;跨区域应急联动机制应用后,突发事件平均处置时间缩短50%,直接经济损失同比降低20%,整体运输安全水平大幅提升。

结束语

铁路运输安全风险管控及评价体系的成功构建,为铁路安全运行筑牢了坚实防线。该体系实现了对安全风险的全方位梳理、精准化评估与动态化管控,有效提升了风险防范的前瞻性与针对性。不过,铁路运输环境复杂多变,未来仍需紧跟行业发展,不断优化完善体系。持续强化新技术应用,提升评价的精准度与管控的智能化水平,从而为铁路运输安全稳定、高效畅通提供更为有力的保障。

参考文献

- [1]李政.铁路货物运输安全分析与风险防范探讨[J].中国市场,2021,(13):152-153.
- [2]徐叶鹏.铁路运输安全风险管控及评价体系构建[J].铁道运输与经济,2020,(11):109-110.
- [3]杜伟博,李士鹏.探讨铁路运输安全管理及其提升措施[J].中国储运,2022,(12):157-158.
- [4]辛东海.铁路运输过程中安全运输的措施研究[J].运输经理世界,2021,(13):128-130.