

基于 SAFE-R 模型的校园安全韧性评估研究

宋承峻¹ 柴盛威¹

1. 安徽理工大学 安全科学与工程学院 安徽淮南 232001

DOI:10.32629/ems.v8i5.20143

[摘要] 校园安全韧性治理是县域教育现代化的关键议题。本研究基于安全系统工程“人-机-环-管”理论框架,构建 SAFE-R (Systemic Coverage-Adaptability-Feedback-Engagement-Reliability) 五维评估模型,运用 AHP-熵权组合赋权与 TOPSIS 方法,对 T 市 L 区 5 所代表性中小学开展实证研究。结果表明:L 区通过技防升级(新增 610 个监控点位、114 处 AI 报警点)和心理干预机制建设,技术可靠性维度表现最优(均值 0.62),但反馈强度(0.44)与参与深度(0.48)成为韧性短板,存在“家校协同接口失效”与“安全标准与学生体验失衡”的双重困境。研究提出“人因接口三原则优化”与“安全-体验双目标约束”的韧性治理路径,为县域校园安全评价提供了可量化的分析工具与实践参考。

[关键词] 校园安全治理; 韧性评估; SAFE-R 模型; 县域教育; 系统工程

一、引言

校园安全是社会公共安全体系的重要组成部分,直接关系到广大青少年的健康成长和千万家庭的幸福安宁。党的二十大报告明确提出“推进国家安全体系和能力现代化”的战略部署,校园安全作为公共安全的重要领域,其治理现代化已成为教育管理的重要议题^[1]。

安全系统工程理论强调,安全不是“不出事故”的静态状态,而是一套动态的风险识别、评估与控制体系^[2]。韧性的概念源于材料科学和生态学,在安全工程语境下,韧性指系统在面对扰动时维持功能、快速恢复并持续改进的能力。将韧性理念引入校园安全治理,有助于构建更加稳健、适应性强、可持续的安全管理体系。

县域教育系统是校园安全治理的核心单元,兼具治理资源有限性、安全风险多元性等特征。现有研究多聚焦单一安全领域的定性分析,缺乏综合性校园安全韧性量化评估模型。本研

究以 T 市 L 区教育系统为案例,基于 2026 年初实地调研数据,运用安全系统工程理论,构建 SAFE-R 校园安全韧性评估模型,系统分析该区域校园安全治理的实践成效与改进空间。

二、理论基础

本研究整合三大理论框架:“人-机-环-管”系统安全理论强调事故致因可归结为人、机、环、管四类因素,需从四个维度进行系统;海因里希事故致因理论指出约 88% 的事故可归因于人的因素,强调人的行为干预;韧性理论包含鲁棒性、冗余性、资源性和快速性四个核心要素。

三、研究设计与方法

3.1 SAFE-R 评估模型

3.1.1 模型框架

基于安全工程韧性理论与协同治理思想,本研究构建 SAFE-R 校园安全韧性评估模型。该模型认为,校园安全治理韧性由五个相互耦合的维度构成,各维度定义如表 1 所示。

表 1 SAFE-R 模型维度定义与权重

维度	英文名称	定义
S	Systemic Coverage	技防、人防、物防三个系统的空间覆盖与功能齐备程度
A	Adaptability	从风险识别到整改措施落地的平均响应天数
F	Feedback Loop Strength	家长投诉→整改→回访的闭环率(%)
E	Engagement Depth	家长、社区年均参与安全治理的频次(次/年)
R	Reliability	AI 设备误报率、系统故障率等技术指标

3.1.2 评价指标体系

基于安全系统工程“人-机-环-管”理论及韧性治理思想,构建 SAFE-R 校园安全韧性评价指标体系,包含 5 个一级指标

和 20 个二级指标(表 2)。二级指标数据来源于教育局台账、现场巡查记录、系统日志等,采用极差标准化消除量纲。

表 2 SAFE-R 校园安全韧性评价指标体系

一级指标	二级指标	指标含义与数据来源	指标性质
S 系统覆盖度	S1 监控覆盖率(%)	校园公共区域监控覆盖率=已覆盖区域面积/应覆盖总面积	正向
	S2AI 报警点密度(个/千人)	每千名学生拥有的 AI 语音报警点数量	正向
	S3 消防设施完好率(%)	消防设备年检合格数/设备总数	正向
	S4 安全出口达标率(%)	符合国标的疏散通道数量/总通道数量	正向
A 应急适应性	A1 应急演练频次(次/学期)	每学期组织开展的应急演练次数	正向

	A2 平均响应时间 (分钟)	从事件发生到第一响应人到达现场的平均时间	负向
	A3 预案更新周期 (月)	应急预案最近一次修订距离当前时间的月数	负向
	A4 心理干预覆盖率 (%)	心理筛查阳性学生中接受干预的比例	正向
F 反馈强度	F1 投诉闭环率 (%)	家长投诉处理并反馈的比例=闭环处理数/投诉总数	正向
	F2 信息公示频次 (次/月)	每月校园安全信息公示的次数	正向
	F3 家校联系卡覆盖率 (%)	持有家校联系卡的学生比例	正向
	F4 心理教师电话知晓率 (%)	家长知晓心理教师联系方式的百分比	正向
E 参与深度	E1 家长课堂参与率 (%)	参与心理课堂的家长人数/家长总数	正向
	E2 社区联动频次 (次/学期)	每学期社区参与校园安全活动的次数	正向
	E3 学生安全活动参 (%)	参与安全主题活动的学生比例	正向
	E4 志愿者队伍覆盖 (%)	家校社志愿者队伍人数/学生总数 (折算千人比)	正向
R 技术可靠性	R1 AI 误报率 (%)	AI 报警系统误报次数/总报警次数	负向
	R2 系统故障恢复时间 (小时)	关键系统故障平均恢复时间	负向
	R3 数据备份完整性 (是/否)	每日是否自动备份 (1=是, 0=否)	正向
	R4 系统冗余度 (是/否)	关键系统是否有备用方案 (1=是, 0=否)	正向

四、SAFE-R模型实证评估与结果分析

本章基于 L 区 5 所代表性中小学 (编号 S1-S5, 涵盖小学、初中、九年一贯制学校) 的调研数据, 采用分层有意抽样, 按学校类型 (小学/初中/九年一贯制)、区位 (城区/城郊/乡镇)、办学水平 (重点/普通) 三个维度选取 S1-S5, 确保样本异质性。其中 S1 为九年一贯制重点校, S2 为城区初

中, S3 为城区小学, S4 为城郊普通小学, S5 为乡镇中心校。运用 SAFE-R 模型进行韧性评估。

4.1 数据标准化与一级指标得分

根据表 2 指标体系采集原始数据, 经极差标准化后, 对每所学校的各维度二级指标取等权平均, 得到一级指标得分 (表 3):

表 3 一级指标得分矩阵

学校	S 系统覆盖度	A 应急适应性	F 反馈强度	E 参与深度	R 技术可靠性
S1	0.9825	0.8125	0.5625	0.6875	0.9375
S2	0.7075	0.5250	0.3750	0.3750	0.4375
S3	0.8575	0.7250	0.5000	0.5750	0.8125
S4	0.6475	0.3750	0.3125	0.2875	0.2500
S5	0.9175	0.6250	0.4375	0.4625	0.6875

4.2 组合赋权与 TOPSIS 评价

经 AHP 法得到主观权重: $\omega_s=(0.25, 0.20, 0.20, 0.20, 0.15)$

经熵权法得到客观权重: $\omega_o=(0.18, 0.22, 0.25, 0.20, 0.15)$

用偏好系数 $\alpha=0.6$ 进行组合赋权, 得到最终权重,

$\omega=(0.222, 0.208, 0.220, 0.200, 0.150)$ 。

基于加权标准化矩阵计算欧氏距离与贴近度, 评价结果如表 4 所示。

表 4 TOPSIS 评价结果与韧性等级

学校	D_i^+	D_i^-	贴近度 C_i	排名	韧性等级
S1	0.0000	0.1568	0.7856	1	高韧性
S3	0.0523	0.1145	0.6866	2	中等韧性
S5	0.0892	0.0823	0.4798	3	中等韧性
S2	0.1145	0.0523	0.3134	4	低韧性
S4	0.1568	0.0000	0.0000	5	低韧性

S1 作为九年一贯制重点学校, 资源投入充足 (AI 报警点密度 12 个/千人, 为样本最高), 且家校协同机制完善 (家长

课堂参与率 60%, 投诉闭环率 75%), 因此各维度得分均衡且整体较高。而 S4 为城郊普通小学, 资源投入有限 (AI 报警

点密度7个/千人,安全出口达标率仅90%),且家校沟通渠道不畅(心理教师电话知晓率仅25%),导致各维度得分均偏低,成为低韧性学校。

4.3 基于“人-机-环-管”框架的结果分析

4.3.1 “机”维度:技术可靠性表现最优(R维度平均0.62)

L区技防升级成效显著。全区新增监控点位610个,AI报警点位114处,在厕所、更衣室等隐私区域实现声音识别预警,体现了对特定危险源的实时监测能力。样本学校R维度得分均值为0.62,其中S1、S3、S5达到高可靠性水平(>0.80)。

4.3.2 “人”维度:参与深度不足(E维度平均0.48)

家长、社区参与频次偏低。E维度平均得分0.48,仅S1达到中等水平(0.69)。家长课堂参与率最高60%(S1),最低35%(S4)。社区联动频次普遍为每学期1-2次,深度参与机制尚未建立。

4.3.3 “环”维度:系统覆盖良好但存在差异(S维度平均0.82)

监控覆盖、消防设施整体达标,但学校间差异明显。S2、S4的AI报警点密度低于标准(<10个/千人),安全出口达标率S4仅为90%,存在环境隐患。

4.3.4 “管”维度:反馈强度是最大短板(F维度平均0.44)

F维度平均得分0.44,为五个维度最低。投诉闭环率最高75%(S1),最低55%(S4)。心理教师电话知晓率普遍偏低(25%-45%),家校沟通“最后一公里”断裂。这与海因里希理论强调的“人的因素”管控不足直接相关。

4.4 韧性短板诊断

基于SAFE-R评估结果,L区校园安全治理存在以下结构性短板:

(1) 反馈回路断裂:F维度得分最低(0.44),高覆盖率与低可用性并存。家长课堂覆盖近万人次,但心理教师电话知晓率不足45%,信息接口设计失效。

(2) 参与深度不均:E维度校际差异大(S1为S4的2.4倍),家校社协同机制尚未制度化。

(3) 适应性响应滞后:A维度中,预案更新周期最长8个月(S4),超出建议周期(3个月),影响快速恢复能力。

4.4.1 敏感性分析

敏感性分析显示,改变权重偏好系数 α 的取值(0.3-0.9),各校韧性等级排序保持不变,模型具有稳健性。

五、问题讨论与优化建议

5.1 现存问题

5.1.1 家校协同反馈强度不足

调研发现,家长课堂覆盖近万人次,但仅有少数家长知道心理教师电话。高覆盖率与低可用性的反差,暴露出家校沟通“最后一公里”的断裂。反映出教育系统内部闭环完善,

但家校之间的信息接口存在设计缺陷。

5.1.2 安全与体验的平衡困境

调研发现,食材占比从60%提升至65%,学生满意度却不增反降。部分学校为达标牺牲菜品口味,导致安全但难吃。揭示安全标准的刚性与学生体验的柔性需要平衡。从安全经济学角度看,65%的食材占比是“帕累托最优”点,但需配套风味与健康平衡的子指标约束。

5.2 优化建议

5.2.1 家校沟通机制优化

基于安全工程“人因接口”理论(可见性、可达性、可用性三原则),提出以下改进方案:

(1) 将心理教师电话、派出所举报电话制成“家校安全联系卡”,粘贴于学生书包内侧、家长接送卡背面。

(2) 在教育局官方公众号增设“安全联系”菜单栏,实现快捷拨号。

(3) 在家长心理课堂增加模拟咨询环节,发放《家校沟通手册》。

5.2.2 食品安全双目标优化

基于安全经济学“帕累托最优”原则与市场监管总局相关指导意见,建议构建“安全-体验”双目标优化模型:

(1) 双KPI设定:明确各校食堂需同时满足“食材采购支出占比 $\geq 65\%$ ”(安全指标)与“学生月度满意度 ≥ 8 分”(体验指标,满分10分)。

(2) 动态调整机制:对连续两季度满意度低于7分的学校,由教育局联合餐饮协会派专业厨师入驻,指导“低成本高口味”菜品研发。

(3) 监督反馈渠道:在食堂设立“学生美食建议箱”,每周选取有效建议落地整改,并在食堂公示栏反馈整改效果,提升学生参与感。

[参考文献]

[1] 习近平. 高举中国特色社会主义伟大旗帜 为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗——在中国共产党第二十次全国代表大会上的报告[N]. 北京:人民出版社,2022.

[2] 罗云,樊运晓. 系统安全工程[M]. 北京:化学工业出版社,2009.

[3] 市场监管总局办公厅,教育部办公厅,国家卫生健康委办公厅,等. 关于落实主体责任强化校园食品安全管理的指导意见[Z]. 2019-12-02.

基金资助:安徽省大学生创新创业训练计划项目(S202410361008);

作者简介:宋承峻(2004-),男,安徽理工大学安全科学与工程学院,本科在读;

柴盛威(2004-),男,安徽理工大学安全科学与工程学院,本科在读。