

# 大数据驱动的消防检测验收数据挖掘与风险预警模型构建

于金龙

青海福泽消防工程有限公司 青海 同仁 811399

**摘要：**随着大数据技术的蓬勃发展，其在消防检测验收领域展现出巨大应用潜力。本文聚焦大数据驱动的消防检测验收数据挖掘与风险预警模型构建，旨在通过整合多源消防数据，运用先进的数据挖掘算法，深度剖析消防检测验收数据特征，精准识别潜在风险因素。进而构建科学有效的风险预警模型，实现对消防安全隐患的提前预警，为消防安全管理与决策提供有力支持，提升消防安全保障水平。

**关键词：**大数据驱动；消防检测验收；数据挖掘；风险预警；模型构建

**引言：**在城市化进程加速与建筑规模不断扩大的背景下，消防安全愈发重要。传统消防检测验收方式依赖人工经验，存在效率低、易遗漏等问题，难以满足当下复杂多变的消防安全需求。而大数据技术凭借强大的数据处理与分析能力，为消防检测验收带来新契机。通过挖掘海量消防检测验收数据中的潜在规律，构建科学的风险预警模型，可提前发现消防隐患，实现消防安全管理的智能化与精准化，保障人民生命财产安全。

## 1 大数据驱动的消防检测验收理论框架

### 1.1 消防检测验收核心要素分析

(1) 建筑防火参数：作为消防检测验收的基础核心要素，涵盖建筑耐火等级与疏散通道两大关键指标。耐火等级决定建筑构件抗火极限，直接影响火灾蔓延速度与人员疏散窗口期；疏散通道的宽度、坡度、疏散距离及畅通性，是保障人员快速撤离的关键前提，需通过精准参数采集实现量化评估。(2) 消防设施数据：包括火灾自动报警系统、自动喷淋灭火装置、消火栓系统、防排烟系统等核心设施的运行状态数据。报警系统的响应灵敏度、误报率，喷淋装置的水压、喷头完好率等数据，直接反映消防设施的防护效能，是判断建筑消防保障能力的核心依据。(3) 历史火灾案例关联特征：通过挖掘同类建筑、相似场景的历史火灾案例，提取火灾诱因、蔓延路径、损失程度等关联特征，为当前建筑消防检测验收提供参考依据，实现“以史为鉴”的风险预判<sup>[1]</sup>。

### 1.2 大数据技术体系支撑

(1) 数据采集：构建多源数据融合采集体系，通过物联网传感器实时采集消防设施运行数据与环境参数；依托BIM模型获取建筑结构三维空间数据，实现建筑消防场景可视化；采用OCR识别技术提取历史验收报告、检

测记录等文本数据，完成非结构化数据向结构化数据的转化。(2) 数据存储：采用分布式文件系统（HDFS）存储海量非结构化数据（如BIM模型文件、视频监控数据），利用图数据库（Neo4j）存储建筑结构、消防设施间的关联关系数据，实现海量数据的高效存储与关联查询。(3) 数据处理：结合Spark流计算与批处理技术，流计算实现实时数据的快速处理与异常预警，批处理完成海量历史数据的深度挖掘与特征提取，形成“实时+离线”的协同数据处理模式，保障数据处理的高效性与全面性。

### 1.3 风险预警模型理论基础

(1) 传统预警模型：以层次分析法、模糊综合评价法为代表，通过构建递阶层次结构模型，明确各消防要素的权重，结合模糊评价矩阵实现消防风险的定性与定量结合评估，适用于基础消防风险的初步研判。(2) 机器学习模型：引入LSTM时序预测模型，基于历史消防数据预测消防设施运行状态变化趋势与火灾发生概率；采用图神经网络开展空间关联分析，挖掘建筑结构、消防设施与火灾风险的空间关联规律，提升风险预警的精准度与前瞻性，为消防检测验收提供科学决策支撑。

## 2 大数据驱动的消防检测验收数据治理与特征工程

### 2.1 多源异构数据融合方法

(1) 结构化数据：针对设备参数、验收记录等结构化数据，采用关系映射法建立统一数据模型，明确字段语义、数据类型及约束规则，通过数据库关联查询实现不同来源结构化数据的整合，保障数据一致性，为后续分析提供标准化基础数据。(2) 非结构化数据：对于消防设施图像、文本验收报告等非结构化数据，引入深度学习技术实现转化融合。图像数据通过目标检测算法提

取设施状态特征，文本数据借助自然语言处理技术进行关键词提取与语义标注，将非结构化信息转化为可量化的结构化特征，实现与结构化数据的协同关联。（3）时空数据：针对设备运行轨迹、火灾热力图等时空数据，采用时空融合模型构建统一时空坐标系，通过时间戳对齐与空间位置匹配，关联不同时空维度的数据，挖掘消防状态随时间、空间的变化规律，为风险动态评估提供时空关联数据支撑。

### 2.2 数据清洗与预处理

（1）缺失值处理：结合数据特性采用差异化补全策略，对于数值型设备参数缺失值，采用KNN插值法利用相似样本数据实现精准补全；对于复杂场景下的多维度缺失数据，运用生成对抗网络学习数据分布特征，生成符合逻辑的补全数据，降低缺失值对分析结果的影响。

（2）异常检测：采用孤立森林算法构建异常识别模型，通过随机森林划分数据空间，计算样本孤立度，精准识别设备运行参数突变、验收数据异常等离群点。同时结合消防业务逻辑验证异常数据有效性，剔除噪声数据或修正异常值，保障数据质量。（3）数据标准化：采用Min-Max归一化方法将不同量纲的消防数据映射至[0,1]区间，消除设备参数、检测指标等数据间的量纲差异，避免因数值范围差异导致的分析偏差，为后续特征工程和模型训练提供标准化数据输入<sup>[2]</sup>。

### 2.3 特征选择与降维

（1）基于SHAP值的特征重要性评估：通过SHAP值量化各特征对消防风险评估结果的贡献度，清晰呈现不同特征的影响权重。结合消防业务需求筛选出关键特征，剔除冗余、无关特征，减少模型计算量，提升模型解释性与泛化能力。（2）PCA与t-SNE联合降维方法：采用PCA算法对高维特征进行线性降维，保留主要信息并降低数据维度；再通过t-SNE算法进行非线性降维，优化高维特征的低维空间分布，解决单一降维方法的局限性。通过联合降维既简化模型复杂度，又保留特征间的关键关联信息，提升后续风险评估模型的训练效率与预测精度。

## 3 大数据驱动的消防检测验收风险预警模型构建

### 3.1 模型架构设计

（1）输入层：多模态数据融合特征向量。输入层核心功能是整合经前期特征工程处理的多源数据，构建统一的多模态特征向量。该向量涵盖建筑结构结构化参数（如耐火等级、疏散通道尺寸）、消防设施运行时序特征（如报警系统响应时间、喷淋装置水压变化）、非结构化数据转化特征（如设施图像缺陷特征、文本报

告风险关键词向量）及时空关联特征（如设备空间位置编码、运行轨迹时序标记）。通过数据标准化与维度对齐，将异质特征融合为固定维度的输入向量，为后续特征提取提供标准化数据支撑，确保不同类型数据能协同参与风险预警计算。（2）隐藏层：采用多分支并行结构，分别实现空间、时序及关联特征的精准提取，形成多维度特征融合体系。1）空间特征提取：引入3D-CNN（三维卷积神经网络）处理建筑结构数据。基于建筑BIM三维模型，3D-CNN通过多层卷积核对建筑空间结构进行局部特征提取，捕捉疏散通道瓶颈、防火分区边界、消防设施空间布局等关键空间信息，精准刻画建筑结构对火灾蔓延的影响规律，生成空间特征图谱；2）时序特征提取：利用Bi-LSTM（双向长短期记忆网络）分析设备运行日志。Bi-LSTM通过前向与后向两个方向的记忆单元，捕捉消防设备运行参数的长时序依赖关系，如报警系统误报的时序规律、喷淋装置压力衰减的趋势特征，有效挖掘设备运行状态的动态变化风险；3）关联特征提取：借助GraphSAGE（图采样与生成嵌入模型）挖掘设备协同关系。将消防设备作为图节点，设备间的联动逻辑（如报警系统与喷淋装置的触发关联）作为边，GraphSAGE通过采样邻居节点与生成节点嵌入，提取设备协同运行的关联特征，识别因设备联动失效导致的消防风险。三大分支提取的特征经拼接融合后，形成全面反映消防状态的高维特征矩阵<sup>[3]</sup>。（3）输出层：风险概率预测（Softmax分类）与等级划分。输出层基于隐藏层融合的高维特征，通过全连接层映射至风险预测空间，采用Softmax激活函数计算不同风险等级（如无风险、低风险、中风险、高风险）的概率分布，实现风险概率的定量预测。结合消防验收规范与历史火灾案例阈值，将预测概率对应划分为明确的风险等级，并输出各等级的核心风险诱因（如空间特征导致的疏散风险、时序特征反映的设备故障风险），为消防检测验收提供精准的风险定位与决策依据。

### 3.2 模型优化策略

（1）注意力机制（CBAM）强化关键特征。为解决多维度特征中关键风险信息被冗余特征掩盖的问题，引入CBAM（卷积块注意力模块）对隐藏层融合特征进行强化。CBAM从通道注意力与空间注意力两个维度自适应分配特征权重，通道维度聚焦对风险影响显著的特征通道（如喷淋装置压力特征通道、疏散通道空间特征通道），空间维度强化高风险区域对应的特征位置（如防火分区薄弱环节的空间特征），通过权重优化突出核心风险特征，提升模型对关键风险的识别灵敏度，降低误

判与漏判概率。(2) 联邦学习框架保护数据隐私。针对消防数据多涉及建筑隐私、企业商业信息的特点,构建联邦学习框架实现模型协同训练。各数据持有方(如消防检测机构、建筑产权单位)在本地保留原始数据,仅将模型训练的中间参数上传至联邦服务器,通过参数聚合实现全局模型优化,避免原始数据跨机构传输,有效保护数据隐私与安全。同时,联邦学习能整合多场景消防数据训练模型,提升模型在不同建筑类型、不同地域场景下的泛化能力<sup>[4]</sup>。(3) 模型轻量化。为适配消防检测验收现场移动终端部署需求,采用知识蒸馏与量化压缩结合的轻量化策略。以训练完成的高精度复杂模型作为教师模型,将其知识(如特征分布、预测概率)迁移至结构简单的学生模型,在保证模型精度损失可控的前提下,简化模型结构;通过量化压缩将模型参数从32位浮点数转化为8位整数,减少模型存储占用与计算开销,提升模型在移动终端的运行效率,实现风险预警的现场实时计算。

#### 4 大数据驱动消防检测验收风险预警模型部署与应用场景

##### 4.1 系统架构设计

(1) 边缘层:以智能传感器网络为核心,实现消防数据实时采集。部署温度、烟雾、水压等多类型智能传感器,就近采集消防设施运行参数、建筑环境状态等数据,通过边缘计算完成数据预处理与初步筛选,降低传输带宽压力,保障数据采集的实时性与有效性,为后续分析提供第一手数据支撑。(2) 平台层:搭载Flink流处理引擎,承担数据实时处理与模型运行核心任务。接收边缘层传输的数据,通过Flink实现高吞吐、低延迟的流数据处理,同步调用风险预警模型完成实时风险评估,同时支撑数据存储、模型管理等基础功能,是系统运行的核心枢纽。(3) 应用层:构建Web可视化平台与移动端预警推送双终端服务体系。Web平台实现风险等级、设备状态、时空分布等信息的可视化展示,支持管理人员远程监控;移动端通过APP推送预警信息、巡检任务等,实现现场人员快速响应,形成“监控-预警-处置”闭环。

##### 4.2 典型应用场景

(1) 大型商业综合体:基于模型预警结果动态调整

巡检路线。针对人员密集、业态复杂的特点,实时识别高风险区域,智能规划最优巡检路径,提升巡检效率,重点防控火灾高发区域风险。(2) 工业园区:依托模型实现高危设备预测性维护。通过分析设备运行时序数据,提前预判压力容器、消防泵等高危设备故障风险,推送维护提醒,避免因设备失效引发消防事故。(3) 历史建筑:结合建筑结构特征与模型分析结果,生成个性化防火方案。针对历史建筑耐火等级低、结构复杂的特殊性,精准识别防火薄弱环节,定制适配的防火措施与应急疏散方案,兼顾保护与防火需求。

##### 4.3 政策与标准建议

(1) 推进消防数据共享机制建设。建立跨部门、跨区域消防数据共享平台,明确数据共享范围、权限与安全规范,打破数据壁垒,整合消防检测、应急管理、建筑产权等多方数据,为模型优化与精准预警提供数据支撑。(2) 制定模型可解释性行业标准。结合消防验收业务需求,明确风险预警模型的解释维度、表述规范与验证方法,提升模型输出结果的可读性与可信度,保障模型在消防验收工作中的合规应用。

##### 结束语

本文借助大数据技术构建的消防检测验收数据挖掘与风险预警模型,实现了对消防数据深度剖析与潜在风险精准预警。通过实践验证,该模型有效提升了消防检测验收的效率与准确性,为消防安全决策提供了可靠依据。然而,消防安全形势复杂多变,未来仍需持续优化模型,融合更多新技术,不断提升其适应性与精准度,以更好地守护社会消防安全,保障人民安居乐业。

##### 参考文献

- [1] 刘杰,李伟光.智能消防设施巡检系统的技术分析及应用研究[J].智能城市,2025,11(07):69-72.
- [2] 朱妙祥,吴天龙.基于大数据分析的城市社区消防安全风险评估与防火策略[J].今日消防,2025,10(05):109-111.
- [3] 张涛.大数据分析助力消防应急通信指挥效能提升研究[J].消防界(电子版),2025,11(06):31-33.
- [4] 郭阳洋.基于大数据的消防安全风险预警机制研究[J].建筑科学,2025,26(05):95-97.